PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 8 — 15. April 1935. Redaktionsschluß für Nr. 10 am 1. Mai 1935. — 36. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

M. Jakob u. W. Linke, Der Wärmeübergang beim Verdampfen von Flüssigkeiten an senkrechten und waagerechten Flächen. S. 267.

J. Stark, Zur Geschichte der Entdeckung der Röntgenstrahlen. S. 280.

F. Schmidt, Über die von einer Lenard-Fensterröhre mit Platinansatz ausgehenden Röntgenstrahlen. S. 283.

J. Malsch u. E. Keutner, Über die Messung der Absorption kurzer elektrischer Wellen in Dipolflüssigkeiten. S. 288.

G. Groetzinger u. R. Frey, Versuche über die Änderung des Wärmedurchganges durch Gase ohne elektrisches Moment, durch Flüssigkeiten und feste Körper infolge eines elektrostatischen Feldes. S. 292.

H. Senftleben, Bemerkung zu der Arbeit von G. Groetzinger und R. Frey: Versuche über die Änderung des Wärmedurchgangs durch Gase ohne elektrisches Moment, durch Flüssigkeiten und feste Körper infolge eines elektrostatischen Feldes. S. 297.

Besprechungen:

G. Bruhat, Cours de Mécanique Physique. S. 298.

Knoll-Ollendorff-Rompe, Gasentladungstabellen. S. 298.

F. Sandgathe, Das Ende der Einsteinschen Zeittheorie. S. 299.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1934/35. S. 299.

Nachrichten. S. 306.

Angebote. S. 306.

ABHANDLUNGEN.

Der Wärmeübergang beim Verdampfen von Flüssigkeiten an senkrechten und waagerechten Flächen.

Von M. Jakob und W. Linke.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Die vorliegende Untersuchung gehört zu einer Reihe von Versuchsarbeiten, die dem Verdampfungsvorgang und insbesondere dem Wärmeübergang bei der Verdampfung gewidmet sind. Diese Arbeiten bezwecken vom physikalischen Standpunkt Aufklärung der Vorgänge beim Verdampfen, vom technischen Standpunkt die Aufstellung von Beziehungen, die es ermöglichen sollen, bei beliebiger Form der Heizfläche und Art der Flüssigkeit den Wärmeübergang mit einer für praktische Zwecke genügenden Genauigkeit vorauszuberechnen.

Die hier beschriebenen Versuche beziehen sich auf vertikale und horizontale Heizflächen, an denen sehr verschiedenartige Stoffe, nämlich reines Wasser, Tetrachlorkohlenstoff und Lösungen eines Netzmittels in Wasser bei weitgehender Variation der Heizflächenbelastung verdampft wurden. Dies führte unter Verwendung von Ähnlichkeitsbeziehungen zu einigen neuen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten für den Wärmeübergang beim Verdampfen und damit zu einer Annäherung an das eingangs erwähnte Ziel.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für Gewährung von Mitteln für die Untersuchung, insbesondere für ein Forschungsstipendium an den einen von uns (Linke), zu großem Dank verpflichtet.

I. Versuchseinrichtungen zur Messung des Wärmeüberganges.

Das Meßverfahren bestand darin, Heizkörper mit vertikaler oder horizontaler wärmeabgebender Fläche („Heizfläche") in die zu verdampfende Flüssigkeit zu versenken und im Dauerzustand die Heizleistung und den Temperaturunterschied zwischen Heizfläche und Flüssigkeit zu messen. Dabei war dafür zu sorgen, daß die gesamte Heizenergie zur Verdampfung diente, Wärmeverluste also ausgeschlossen waren. Der entstehende Dampf wurde in einem von Wasser durchströmten Kühler niedergeschlagen.

A. Anordnung mit senkrechter Heizfläche.

Die früher beschriebene Versuchseinrichtung für waagerechte Heizplatten (1) wurde sinngemäß auf senkrechte Heizflächen übertragen (Abb. 1 und 2). In einem die zu verdampfende Flüssigkeit enthaltenden Glasgefäß *a*, dessen abgeschliffener Rand durch einen Messingdeckel *b* dicht verschlossen ist, steht der zylindrische Heizkörper *c* bis *f*. Seine Hauptteile sind ein äußerer, kupferner Hohlzylinder *c* von 150 mm Länge,

35 mm Außendurchmesser und 5 mm Wanddicke, ein ebenso langes inneres Messingrohr *d*, auf das mit Asbest umsponnener Chromnickelheizdraht gewickelt ist[1]) und die mit *c* verlöteten Neusilberrohre *e* und *f*, das untere 28 mm lang und 0,5 mm dick, das obere 245 mm lang und zunächst (auf 28 mm Länge) ebenfalls 0,5 mm dick und im weiteren Verlauf 1,5 mm dick. Diese

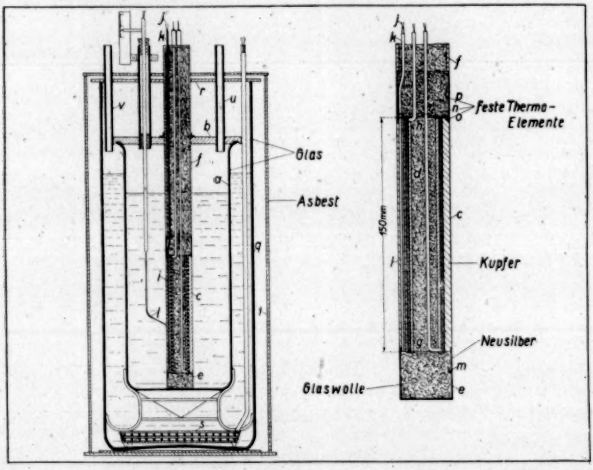


Abb. 1 und 2. Versuchsanordnung mit vertikalem Heizzylinder.

Rohre dienen als hydraulische Anlauf- und Auslaufflächen für die Konvektionsströmung; sie wurden gemeinsam mit dem Kupferrohr *a* verkupfert, verchromt und hochpoliert. Da sie nicht beheizt sind und nur wenig Wärme aus *c* ableiten, wird die Flüssigkeit nur auf *c* verdampft. Die Heizwicklung wird durch 2 Metallringe *g* und *h* begrenzt; diese sind durch 2 kleine Vorsprünge mit *c* verbunden. Um selbst diese metallische Verbindung zu vermeiden, wurden bei einer Umänderung des Heizkörpers die Enden von *d* abgeschnitten und durch 15 mm lange Speicksteinrohre mit Rand ersetzt. *d*, *e* und *f* waren mit Glaswolle ausgefüllt. In der Wand von *c* konnten zwei dünnwandige Röhrchen *i* von 1,5 mm Außendurchmesser, die Thermoelemente *j* enthielten, in zwei einander diametral gegenüber angeordneten Bohrungen, von denen nur eine gezeichnet ist, auf- und abbewegt werden. Da 150 mm lange Bohrungen von nur 1,5 mm Weite nicht hergestellt werden konnten, wurden 3 mm weite Löcher gebohrt; eines davon wurde mit einem Kupferdraht ausgefüllt, in den eine 1,5 mm weite Längsnut eingearbeitet war, in das andere wurde ein 1,5 mm weites Rohr fest eingesetzt; oberhalb *c* ging dieses in ein dünnwandiges Rohr *k* über, das zur Führung von *i* diente.

Die Temperatur der Flüssigkeit wurde durch ein verschiebbares und drehbares Thermoelement *l* gemessen; zur Messung der Temperatur von *e*, *f* und *h* waren Thermoelemente *m*, *n*, *o* und *p* innen angelötet. Jedes Thermoelement bestand aus einem 0,25 mm dicken Konstantandraht und einem 0,2 mm dicken Eisendraht.

Das Gefäß *a* steht in einem äußeren Glasgefäß *q*, das durch den Deckel *r* abgeschlossen ist; in *q* wird durch den Heizkörper *s* die gleiche Flüssigkeit verdampft wie in *a*; Wärmeverluste sind dadurch fast völlig vermieden. Um dessen noch sicherer zu sein, wurde bei der bereits erwähnten Umänderung das Rohr *f* auf 75 mm verkürzt, so daß es nicht mehr aus dem Glasgefäß *a* herausragte; einzig die Nickelröhrchen für die Heizzuleitungen und Thermoelemente wurden hierbei durch Korke herausgeführt. Die ganze Anordnung war von einer mit Aluminiumfolie beklebten Asbesthülle *t* umgeben. Die Rohre *u* und *v* dienten zum Einfüllen der Flüssigkeit und beim Versuch als Abzug für den Dampf, der von da in das Kondensrohr geführt wurde.

Die Versuche mit Tetrachlorkohlenstoff machten eine gute Abdichtung der Apparatur und eine ziemlich umfangreiche Kühlanlage (3 Kühler hintereinander) zur Kondensation des Dampfes notwendig. Zur Sicherheit wurde die gesamte Einrichtung unter ein 370 mm weites Blechrohr gestellt, durch das die aus undichten Stellen austretenden Dämpfe mittels eines Ventilators ins Freie geblasen wurden.

B. Anordnung mit waagerechter Heizfläche.

Die von Jakob und Fritz beschriebene Versuchseinrichtung (1), die im Prinzip der nach Abb. 1 und 2 entspricht, wurde im wesentlichen beibehalten. Die Versuche wurden teils mit dem

1) Die Umspinnung wurde von der Monette-Asbestdraht G. m. b. H., Berlin, ausgeführt.

Heizkörper ausgeführt, den wir in einer früheren Abhandlung (2) beschrieben haben (*A*), teils wurde ein neuer verbesserter Heizkörper (*B*) (Abb. 3–5) benutzt. Er besteht aus einer Kupferplatte *a* von 100 mm Durchmesser mit 16 hart eingelöteten Kupferrippen, zwischen denen 3 Lagen mit Asbest umsponnener Chromnickelheizdraht eingelegt waren; die Wärmeabgabe vom Heizdraht nach oben und damit

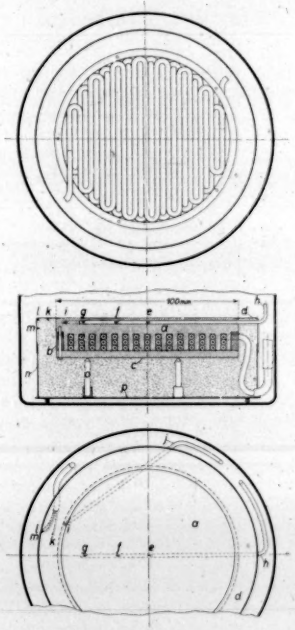


Abb. 3 bis 5. Horizontale Heizplatte.

die Belastbarkeit ist gegenüber der früheren Anordnung bedeutend erhöht[1]). Nach Bewicklung wurde ein Kupferring *b* eingelegt und mit der unteren Kupferplatte *c* verschraubt. Bei einem Durchmesser 100 mm der für die Verdampfung wirksamen Fläche konnte so eine Kreisfläche von über 90 mm Durchmesser (gegenüber 75 mm früher) bewickelt werden. Ferner wurde der Wärmeverlust am Rand durch Ansatz eines umgebörtelten Neusilberringes *d* von nur 0,2 mm Dicke sehr verringert und der Rechnung besser zugänglich gemacht. Die Anordnung der Thermoelemente (Eisen-Konstantan wie unter I, A) geht aus Abb. 4 und 5 hervor; die Elemente *e*, *f* und *g* wurden zusammen in einem 1,6 mm weiten Röhrchen *h*, das Element *i* in einem 1,0 mm weiten Röhrchen *j* in der mittleren Tiefe von 2,2 mm von der Oberfläche der Heizplatte verlegt. An dem Neusilberrand waren innen 3 Thermoelemente *k*, *l* und *m* angeordnet, die ebenso wie die Kupferzuleitung zum Heizkörper zunächst frei durch die den Heizkörper seitlich und unten umgebende Glaswollefüllung und dann durch Messingröhrchen aus dem Nickelzylinder *n* herausgeführt wurden. Der Kupferkörper *a*, *b*, *c* ruhte mittels 3 Porzellanstiften *o* auf dem Nickelboden *p* der Hülle. Auch das innere Glasgefäß, in dem der Heizkörper liegt, ist im Schnitt angedeutet.

[1]) Z. B. wurde der Heizkörper *A* in CCl_4 bei der Heizflächenbelastung $H = 140000$ kcal/m²h defekt, *B* dagegen erst bei $H = 260000$.

II. Durchführung und Auswertung der Messungen des Wärmeüberganges.

Die Hauptversuche bestanden in der wiederholten Bestimmung der aus Akkumulatorenbatterien entnommenen elektrischen Heizleistung mittels guter Zeigerinstrumente und der Temperaturen mittels Thermoelementen nach der Kompensatormethode. Die Temperatur der Flüssigkeit wurde in einigem Abstand von der Heizfläche gemessen, die Temperatur der Wand an verschiedenen Stellen; die Differenz der Mittel der letzteren Messungen (bei horizontaler Platte unter Zuordnung eines gleichgroßen Teiles der Fläche zu jedem Thermoelement) und der Flüssigkeitstemperatur wird im folgenden als „Übertemperatur" Θ bezeichnet.

Nachgefüllt wurde niemals während eines Versuches, weil durch die in frischer Flüssigkeit gelösten Gasmengen günstigere Bedingungen für die Verdampfung geschaffen worden wären (3). Aus dem gleichen Grund wurde die Flüssigkeit sofort nach dem Nachfüllen während einiger Zeit gekocht.

Für die Auswertung der Versuche gelten im wesentlichen die Darlegungen von Jakob und Fritz (1). Die durch die Neusilberrohre *e* und *f* (Abb. 1 und 2) bzw. das Neusilberblech *d* (Abb. 3–5) an die Flüssigkeit abgeleitete Wärme wurde berechnet aus den Temperaturangaben der Thermoelemente *o* und *p* bzw. *i*, *k* und *l* nach der bekannten Beziehung

$$\Theta = \Theta_0 \cdot e^{-x\sqrt{\frac{u\,\alpha}{f\,\lambda}}} \qquad (1)$$

für die Übertemperatur Θ eines Stabes von dem Querschnitt f, dem Querschnittsumfang u und der Wärmeleitzahl λ, dessen Temperatur an einem Ende um Θ_0 höher ist als die seiner Umgebung, im axialen Abstand x von diesem Ende;

α bedeutet dabei die Wärmeübergangszahl. Die Rohre e und f (Abb. 1 und 2) können ohne weiteres als Stäbe betrachtet, beim Rand d (Abb. 3–5) kann die Krümmung vernachlässigt werden. Die an der Stelle o (beim Zylinder) bzw. i (bei der Platte) gemessene Übertemperatur sei Θ_0; die zweite Konstante (α) der Gleichung (1) wird durch Messung von Θ an der Stelle p bzw. k bestimmt.

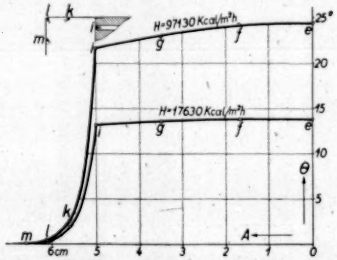


Abb. 6. Temperaturverlauf in der horizontalen Heizplatte beim Verdampfen von Tetrachlorkohlenstoff. (A = Radialer Abstand, Θ = Übertemperatur über Flüssigkeitstemperatur.)

Abb. 6 zeigt den Temperaturverlauf in der horizontalen Platte (Form B) beim Verdampfen von CCl_4 für die Heizflächenbelastungen $H = 17630$ und $H = 97130$ kcal/m²h, Abb. 7

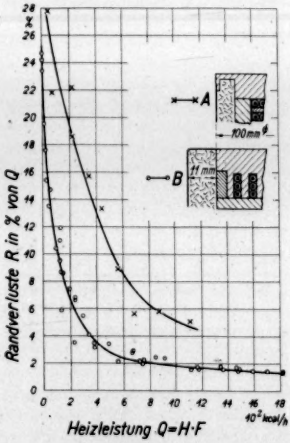


Abb. 7. Randverluste bei horizontalen Heizkörpern.

den Randverlust R in Abhängigkeit von der Heizleistung $Q = H \cdot F$. Sie läßt die durch Form B erzielte Verbesserung erkennen.

Die Versuche bei vertikaler Heizfläche konnten bis zur Belastung $H = 55000$ kcal/m²h, die bei horizontaler Heizfläche mit Tetrachlorkohlenstoff (über die früher mit Wasser erreichte Grenze $H = 210000$ kcal/m²h hinaus) bis $H = 240000$ kcal/m²h, entsprechend einer stündlichen Verdampfung von 5200 kg dieses Stoffes auf 1 qm Heizfläche ausgedehnt werden.

III. Versuchsergebnisse.

Es sollen nun zunächst unter A die Ergebnisse der Wärmeübergangsmessungen an Wasser und Tetrachlorkohlenstoff zusammengestellt und dann in den Abschnitten B bis D die Ergebnisse von Sonderuntersuchungen mitgeteilt werden, die wir zwecks Verallgemeinerung unserer Resultate (Abschnitt IV) angestellt haben.

A. Wärmeübergang an Wasser und Tetrachlorkohlenstoff in Abhängigkeit von der Heizflächenbelastung.

1. Temperaturdifferenzen Θ zwischen Heizflächen und Flüssigkeit.

a) Senkrechte Heizfläche.

An dem oben beschriebenen senkrechten Zylinder wurde der Wärmeübergang an Wasser und Tetrachlorkohlenstoff gemessen. In Abb. 8 und 9 wird der Verlauf der Temperaturdifferenz Θ von unten nach oben für einige charakteristische Fälle gezeigt. Die ganze Veränderlichkeit von Θ fällt der Wandtemperatur zur Last, da die Temperatur der Flüssigkeit in verschiedenen Höhen und Abständen von der Wand bis auf eine wandnahe Grenzschicht praktisch gleich war. Den Scharen der zwei Abbildungen ist gemeinsam, daß Θ bei kleinen Heizflächenbelastungen H von unten nach oben bis zu einem Maximum steigt und dann etwas abnimmt, bei großem H aber sinkt und dann zuweilen wieder ansteigt. Die Zunahme bei kleinem H ist der bekannte Verlauf von Θ bei natürlicher Konvektion. Bei größeren Belastungen aber nimmt von unten nach oben die Rührwirkung der aufsteigenden Dampfblasen zu und damit Θ ab; der Anstieg ganz oben (und zum Teil auch der ganz unten) rührt wohl vom Zustrom von Wärme durch h bzw. g (Abb. 2) her, der bei den in Abb. 8 wiedergegebenen Versuchen noch nicht durch die erwähnte Abänderung (vgl. I, A) verringert war.

Abb. 10 gibt die an verschiedenen Tagen gemessenen über die Höhe des Heizzylinders genommenen Mittelwerte von Θ in Abhängigkeit von der Heizflächenbelastung H wieder. Bei Wiederholungen der Versuche während mehrerer

Wochen zeigte sich, wie früher an der horizontalen Platte mit Wasser festgestellt (2), daß Θ auch für vertikale, verchromte und dann polierte Heizflächen bei aufeinanderfolgenden Versuchen zunächst kräftig zunimmt (Kurven 1–5 bei H_2O, 1–4 bei CCl_4). Freilich ist der Höchstwert nicht stabil. Kalt zugeführte gasreiche Flüssigkeit, geringe Verunreinigungen und Niederschläge auf der Heizfläche führen zur Bildung neuer Stellen der Verdampfung und damit zur Erniedrigung der Übertemperatur Θ. Man muß daher damit rechnen, daß nach Versuchspausen auch wieder kleinere Werte von Θ beobachtet werden (Kurven 6 bei H_2O, 8 und 9 bei CCl_4)[1]. Diese Verschiedenheiten äußern sich auch in der Temperaturverteilung in der Rohrwand. In Abb. 10 entsprechen die oberen Umhüllenden der Kurven dem ungünstigsten Wärmeübergang, d. h. der äußersten Verarmung der Heizfläche an Verdampfungskernen, die im Verlauf unserer Dauerversuche auftrat. Da diese Grenzen auch sonst nur wenig überschritten werden dürften und sich deshalb wohl am besten für den Vergleich von Messungen an verschiedenen Flächen und Flüssigkeiten eignen, haben wir sie unseren folgenden Betrachtungen durchweg zugrunde gelegt.

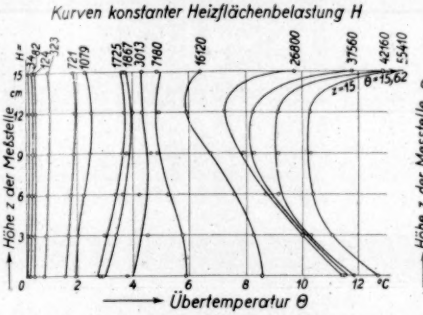


Abb. 8. Temperaturverlauf im Heizzylinder von unten nach oben beim Verdampfen von Wasser.

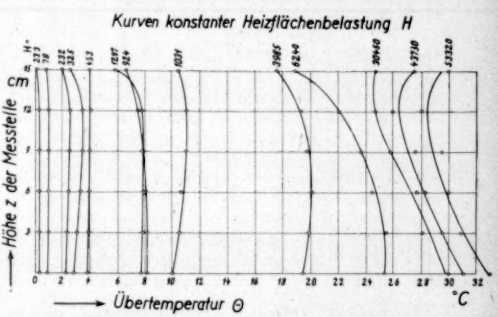


Abb. 9. Temperaturverlauf im Heizzylinder von unten nach oben beim Verdampfen von Tetrachlorkohlenstoff.

b) Waagerechte Heizfläche.

Die Nachprüfung der früheren Messungen mit Wasser am Heizkörper *B* führte bei größerer Belastung stets zu Werten zwischen den beiden früher (2) am Heizkörper *A* festgestellten Kurven, die in Abb. 11 gestrichelt und mit *a* und *e* bezeichnet sind. Die mittlere Temperaturdifferenz Θ bewegte sich dabei, wie früher ebenfalls beobachtet, im Laufe der Versuche von Kurve *a* nach Kurve *e*.

Bei den Messungen mit Tetrachlorkohlenstoff machte sich, wie beim senkrechten Zylinder, die Änderung von Θ bis zu einer gewissen oberen Grenze besonders bemerkbar (Abb. 11, s. S. 272, Kurven 1–8); auch Rückschläge wurden wieder beobachtet (Kurven 9–11).

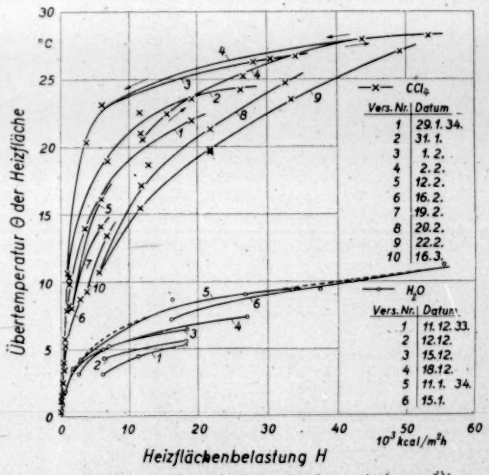


Abb. 10. Zeitliche Veränderlichkeit der mittleren Übertemperatur der vertikalen Heizfläche.

Bei den Messungen mit Tetrachlorkohlenstoff machte sich, wie beim senkrechten Zylinder, die Änderung von Θ bis zu einer gewissen oberen Grenze besonders bemerkbar (Abb. 11, s. S. 272, Kurven 1–8); auch Rückschläge wurden wieder beobachtet (Kurven 9–11).

[1]) Es ist nicht ausgeschlossen, daß ein Defekt des Heizkörpers, der nach vielmonatiger Betriebspause zum Vorschein kam, bei den Versuchen Nr. 8 und 9 bereits bestand und an dem starken Rückschlag von Θ mit schuld war.

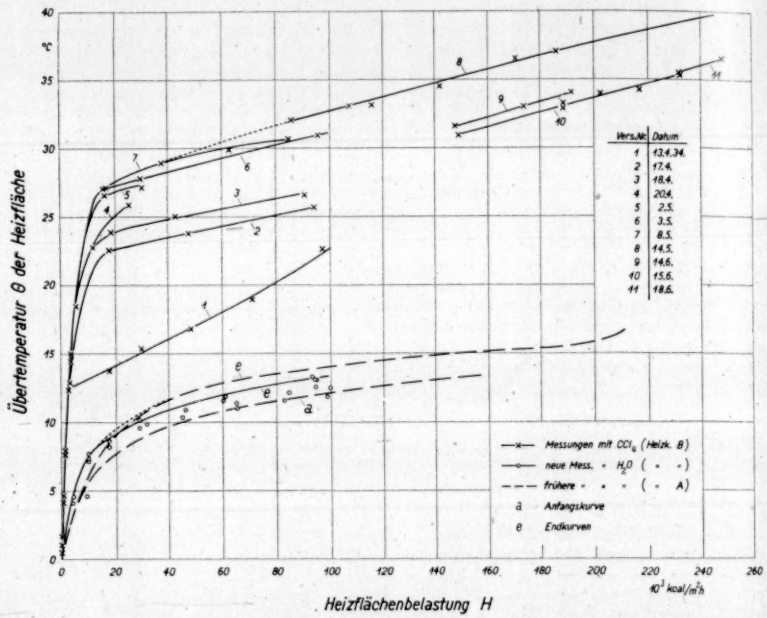


Abb. 11. Zeitliche Veränderlichkeit der mittleren Übertemperatur der horizontalen Heizfläche.

2. Wärmeübergangszahlen.

In Abb. 12 sind die den jeweils höchsten Übertemperaturen zugehörigen und somit kleinsten Werte von α in Abhängigkeit von H im logarithmischen Maßstab aufgetragen. Die linken Enden der Linienzüge sind wenig genau, weil die zu messenden Temperaturunterschiede Θ sehr klein waren; sie sind daher nur gestrichelt eingezeichnet. Der ausgezogene Teil jedes Linienzuges besteht aus zwei Geraden verschiedener Neigung, flach im Gebiet freier Konvektion, steil im Gebiet der Rührwirkung der Blasen, wie schon früher beobachtet (2). Das Übergangsgebiet zwischen beiden Geraden liegt bei vertikaler Heizfläche zwischen $H \approx 2000$ und 4000 kcal/m²h, bei horizontaler Heizfläche zwischen $H \approx 5000$ und 10000. Den flachen Geraden entsprechende Potenzformeln werden in Abschnitt IV, A zusammengestellt; bei den steilen Geraden sei zunächst nur auf den geringen Unterschied für senkrechte und waagerechte Heizfläche hingewiesen.

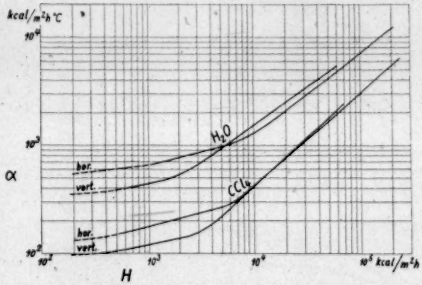


Abb. 12. Wärmeübergangszahl α in Abhängigkeit von der Heizflächenbelastung H.

B. Einfluß der Oberflächenspannung auf den Wärmeübergang.

Durch Lösung kleiner Mengen eines von der I. G. Farbenindustrie freundlichst zur Verfügung gestellten Netzmittels „Nekal BX" in Wasser kann man die Oberflächenspannung σ stark variieren, ohne die anderen Stoffeigenschaften merklich zu verändern[1]). In Abb. 13 sind das

1) Wir danken Herrn Dr.-Ing. W. Büche, Ludwigshafen, für den Hinweis auf dieses Netzmittel.

spezifische Gewicht γ, die mit dem Ostwaldschen Viskosimeter gemessene Zähigkeit η und die nach der Steighöhenmethode festgestellte Oberflächenspannung σ in Abhängigkeit von der Konzentration dargestellt.

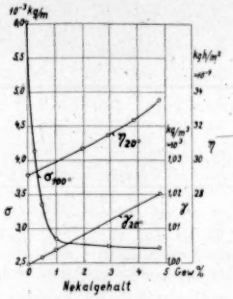


Abb. 13. Stoffwerte von Nekallösungen.

Mit solchen Nekallösungen wurden an der horizontalen Platte bei $H = 34800$ kcal/m²h die Übertemperatur Θ und an dem Verdampfungsgefäß entnommenen Flüssigkeitsproben die Oberflächenspannung σ gemessen.

In Tabelle I sind 8 bei zunehmender Konzentration gemessene Werte von σ und Θ wiedergegeben und 3 weitere Werte, bei denen σ durch Zusatz von reinem Wasser im Laufe der Versuchsreihen wieder erhöht wurde. Dabei erreichte Θ die vorher beobachteten Werte nicht mehr ganz, was wohl auf Verunreinigung der Heizfläche, d. h. eine nur langsam wieder abnehmende Anreicherung mit Verdampfungskernen, zurückzuführen ist.

Tabelle I.

Übertemperatur Θ einer horizontalen Heizplatte beim Verdampfen von Nekallösungen verschiedener Oberflächenspannung σ mit der Heizflächenbelastung $H = 34800$ kcal/m²h.

$10^3\,\sigma$ (kg/m)	6,00*	5,71	5,29	4,69	4,44	4,09	3,76	3,32	5,80	5,89	5,89
Θ (° C)	10,02*	9,68	8,99	8,70	8,51	8,20	8,28	8,14	8,94	9,02	8,81

* Reines Wasser

In Abb. 14 sind die aus Tabelle I (ohne die drei letzten Werte) berechneten Werte von α aufgetragen. α steigt hiernach mit abnehmendem σ, und zwar durch Zusatz von etwa 0,5 Proz. Nekal zu Wasser um etwa 23 Proz. Eine praktische Verwertung dieser Tatsache dürfte allerdings durch die Abscheidungen auf der Heizfläche und die starke Schaumbildung erschwert werden.

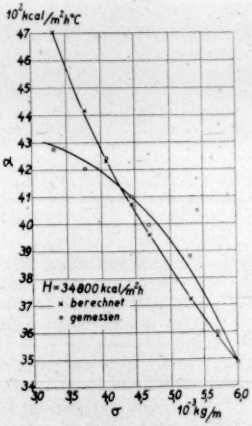


Abb. 14. Wärmeübergangszahl für horizontale Heizfläche und siedende Nekallösungen in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung σ.

C. Einfluß der geometrischen Verhältnisse des Verdampfungsgefäßes auf den Wärmeübergang.

Bei den Betrachtungen des Abschnittes IV muß man wissen, ob für den Wärmeübergang eine von den Dampfblasen bewirkte Umwälzung der gesamten Flüssigkeit oder lokale, an die Entstehungsstellen der Dampfblasen gebundene Zirkulationen maßgebend sind. Im ersteren Fall müßte sich α mit den Gefäßdimensionen und der Höhe des Flüssigkeitsspiegels ändern. Zur Orientierung hierüber wurden einige Versuche mit Wasser ausgeführt.

1. Variation des Flüssigkeitsstandes bei horizontaler Heizfläche.

In Abb. 15 ist die Wärmeübergangszahl α in Abhängigkeit von der Höhe h des Flüssigkeitsspiegels über der horizontalen Heizfläche aufgetragen, gemessen bei einer Belastung

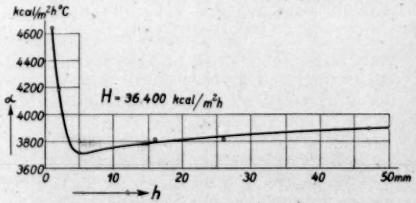


Abb. 15. Wärmeübergangszahl für horizontale Heizfläche und siedendes Wasser in Abhängigkeit von der Wasserhöhe h.

$H = 36400$ kcal/m²h. Bis zu ganz kleinen Spiegelhöhen ändert sich α wenig, bei Spiegelhöhen von der Größenordnung eines Dampfblasendurchmessers d_u setzt eine starke Zunahme von α ein.

2. Variation der Gefäßdimensionen bei vertikaler Heizfläche.

Eine Änderung der Gefäßdimensionen wurde dadurch erreicht, daß bei der Anordnung nach Abb. 1 der Heizzylinder von 3,4 cm Durchmesser von 6 und 10 cm weiten Blechrohren umgeben wurde. Diese standen auf dem Gefäßboden oder waren etwas angehoben; oben ragten sie nie über den Flüssigkeitsspiegel heraus. Dadurch wurde einmal die Wirkung einer Gefäßverkleinerung, das andere Mal ein allgemeiner Umlauf durch die Pumpwirkung der Dampfblasen erzielt. In beiden Fällen war keine wesentliche Änderung des Wärmeüberganges zu beobachten.

Aus 1. und 2. folgt, daß Umwälzungen der gesamten Flüssigkeit keinen wesentlichen, unmittelbaren Einfluß auf α haben. Maßgebend müssen also vielmehr Teilbewegungen der Flüssigkeit in nächster Nähe der Heizfläche sein.

D. Beobachtungen an Dampfblasen.

1. Durchmesser der Dampfblasen.

Der Durchmesser d_u, bis zu dem die Wasser- und Tetrachlorkohlenstoff-Dampfblasen beim Abreißen von der horizontalen Heizfläche angewachsen sind, wurde durch 14 Momentaufnahmen mit der Expositionszeit von $^1/_{250}$ Sekunden bestimmt. Dabei wurde ein in die Flüssigkeit gehängter Maßstab mitphotographiert.

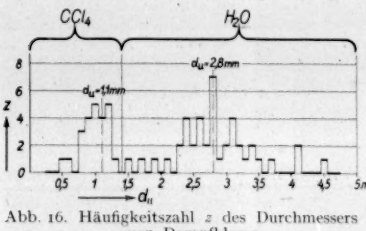


Abb. 16. Häufigkeitszahl z des Durchmessers d_u von Dampfblasen.

Abb. 16 zeigt für 42 H_2O-Blasen und 24 CCl_4-Blasen die Häufigkeit bestimmter Durchmesser; der häufigste Wert war $d_u \approx 2{,}8$ mm für H_2O und $d_u \approx 1{,}1$ mm bei CCl_4.

2. Frequenz der Dampfblasen.

Über die Frequenz der Blasenbildung konnten wir uns mittels einer stroboskopischen Methode orientieren. Dabei fiel das Licht einer starken Glühlampe durch 2, 4, 6 oder 8 Schlitze von Pappscheiben, die 200- bis 1000mal in der Minute umliefen, auf die Dampfblasen, die von der horizontalen Heizplatte aufstiegen. Es zeigte sich, daß für jede Flüssigkeit eine Belichtungsfrequenz existiert, bei der die meisten Blasen

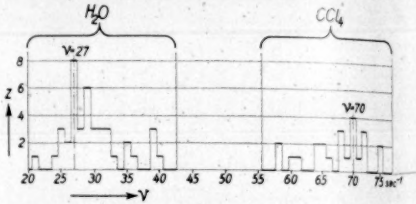


Abb. 17. Häufigkeitszahl z der Frequenz ν von Dampfblasen.

stillzustehen scheinen. Eine gewisse Schwierigkeit macht die Deutung der Meßergebnisse, weil Stillstand der Blasen bei verschiedenen Belichtungsfrequenzen eintritt. Eine einfache Überlegung ergibt aber, daß die Blasenfrequenz gleich jener Belichtungsfrequenz ist, bei deren Verdoppelung die doppelte Blasenzahl (übrigens lichtschwächer) und bei deren Halbierung die gleiche Blasenzahl erscheint. Die so ermittelten Blasenfrequenzen sind in Abb. 17 nach ihrer Häufigkeit dargestellt. Aus 40 Messungen mit H_2O und 22 mit CCl_4 ergaben sich die häufigsten sekundlichen Frequenzen $\nu_{H_2O} \approx 27$ und $\nu_{CCl_4} \approx 70$.

3. Produkt aus Durchmesser und Frequenz der Dampfblasen.

Aus 1. und 2. folgt $(d_u \cdot \nu)_{H_2O} \approx 27 \cdot 2{,}8 = 76$ mm/s und $(d_u \cdot \nu)_{CCl_4} \approx 70 \cdot 1{,}1 = 77$ mm/s in genügender Übereinstimmung mit den Ergebnissen noch unveröffentlichter Zeitdehnerversuche an Wasserdampfblasen (4), bei denen $d_u \cdot \nu = 72$ bis 100 mm/s für $d_u = 1$ bis 5 mm gefunden wurde. Für diesen vermutlich auch bei anderen reinen Flüssigkeiten praktisch wenig veränderlichen Wert wollen wir die Bezeichnung w einführen.

4. Stellen der Verdampfung.

Endlich wurde untersucht, wie die Zahl n der Stellen der Verdampfung auf der horizontalen Platte mit sinkender Höhe h des Wasserspiegels zunimmt. Bei der Heizflächenbelastung $H \approx 29000$ kcal/m²h wurde an zwei Tagen von zwei bis drei Beobachtern die aus Abb. 18 ersichtliche mittlere Anzahl n von Verdampfungsstellen gemessen. Hiernach nahm bei sinkendem Wasserspiegel n zunächst wenig, dann stärker zu und blieb schließlich von etwa $h = 40$ mm an fast unverändert.

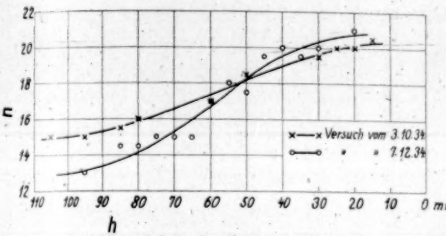


Abb. 18. Abhängigkeit der Zahl n der Entstehungsstellen von Dampfblasen von der Wasserhöhe h.

IV. Dimensionslose Darstellung des Wärmeüberganges beim Verdampfen.

A. Wärmeübergangsbeziehungen für das Gebiet der natürlichen Konvektion.

Wie wir früher gezeigt haben (2), spielt bei kleinen Heizflächenbelastungen H die Rührwirkung der Dampfblasen keine Rolle gegenüber der Flüssigkeitsbewegung durch natürliche Konvektion. In diesem Gebiet werden sich daher die Meßergebnisse den Gesetzen der natürlichen Konvektion nähern. Deren allgemeine Form lautet:

$$\mathrm{Nu} = \Phi(\mathrm{Gr}, \mathrm{Pr}), \qquad (2)$$

eine speziellere Form:

$$\mathrm{Nu} = C \cdot (\mathrm{Gr} \cdot \mathrm{Pr})^m, \qquad (3)$$

wobei

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda}, \quad \mathrm{Gr} = \frac{l^3 \gamma^2 \beta \Theta}{\eta^2 g}, \quad \text{und} \quad \mathrm{Pr} = \frac{c_p \eta g}{\lambda}$$

die nach Nusselt, Grashof und Prandtl benannten Kenngrößen sind, l eine charakteristische Länge, α die Wärmeübergangszahl, γ, β, η, c_p, λ das spezifische Gewicht, die thermische Ausdehnungszahl, die dynamische Zähigkeitszahl, die spezifische Wärme, die Wärmeleitzahl der Flüssigkeit, g die Schwerebeschleunigung bedeuten[1]).

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller einschlägigen uns bekannten Versuche ohne Änderung des Aggregatzustandes führte für $10^3 < \mathrm{Gr} \cdot \mathrm{Pr} < 10^{12}$ zu $C = 0{,}56$ und $m = 1/4$ für laminare Konvektionsströmung längs der Heizfläche und zu $C = 0{,}13$ und $m = 1/3$ für turbulente Konvektionsströmung (2). In Abb. 19, welche diese Potenzbeziehungen nochmals wiedergibt, haben wir nun ferner mit $l = 0{,}15$ m (Höhe der vertikalen Heizfläche) bzw. $l = 0{,}10$ m (Durchmesser der horizontalen Heizfläche) und unter Benutzung der in der Tabelle II zusammengestellten Stoffwerte die der Abb. 12 entsprechenden Linienzüge eingetragen. Sie lassen sich bei kleinen, aber

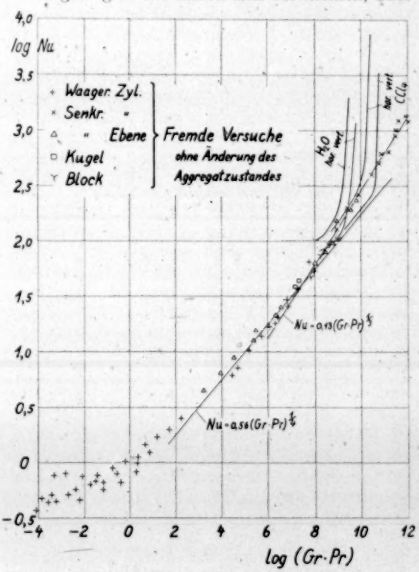


Abb. 19. Für das Gebiet natürlicher Konvektion geeignete dimensionsfreie Darstellung des Wärmeüberganges.

Tabelle II.

Stoffwerte und Kenngrößen zur Auswertung von Gleichung (3) (sämtlich für normale Siedetemperatur t_s).

Stoff	t_s	γ	$\beta \cdot 10^6$	$\eta \cdot 10^9$	c_p	λ	$\mathrm{Gr} \cdot 10^{-9} / l^3 \Theta$	Pr	$\mathrm{Gr} \cdot \mathrm{Pr} \cdot 10^{-9} / l^3 \Theta$
	°C	$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$	$\frac{1}{°\mathrm{C}}$	$\frac{\mathrm{kg\,h}}{\mathrm{m}^2}$	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg\,°C}}$	$\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m\,h\,°C}}$	$\frac{1}{\mathrm{m}^3 \cdot °\mathrm{C}}$		$\frac{1}{\mathrm{m}^3\,°\mathrm{C}}$
H_2O	100	959	750	8,0	1,011	0,588	84,5	1,75	147,8
CCl_4	76,7	1483	1224	13,8	0,209	0,087	111,2	4,2	467

[1]) g erscheint im Nenner von Gr und im Zähler von Pr, da wir das technische Maßsystem benutzen.

nicht allzu kleinen Belastungen[1]) durch Gleichung (3) darstellen, bei vertikaler Heizfläche mit $m = 1/4$ und $C = 0{,}61$, bei horizontaler Heizfläche mit $m = 1/3$ und $C = 0{,}176$ (für Wasser) und $C = 0{,}147$ (für Tetrachlorkohlenstoff), im Mittel mit $C = 0{,}16$. In der Tat ließ auch die Schlierenbildung erkennen, daß beim vertikalen Zylinder die Strömung auf dem größten Teil seiner Höhe laminar war ($m = 1/4$), bei der horizontalen Platte aber stets turbulent ($m = 1/3$), und dies ist auch leicht daraus verständlich, daß die aufsteigende Konvektionsströmung bei der vertikalen Heizfläche parallel zu dieser, gewissermaßen die Strömung an der Wand glättend, verläuft, bei der horizontalen Fläche aber senkrecht zu ihr, was die Grenzschicht stören und leicht zu Turbulenz führen muß. Im allgemeinen entspricht hiernach in diesem Gebiet der von uns gemessene Wärmeübergang den nach Abb. 19 für den Fall unveränderten Aggregatzustandes dargestellten Gesetzmäßigkeiten.

B. Wärmeübergangsbeziehung für das Gebiet der Rührwirkung der Dampfblasen.

Bei steigender Belastung biegen die Linienzüge der Abb. 19 plötzlich steil nach oben und ergeben nun für verschiedene Lage der Heizfläche und Art der Flüssigkeit weit voneinander abweichende Werte von Nu. Das Wärmeübergangsgesetz schlägt also — offenbar infolge der Rührwirkung der Dampfblasen — um, und die Darstellung nach Gleichung (3) kann auch nicht mehr annähernd als Ähnlichkeitsbeziehung betrachtet werden.

Um die in den vier steilen Ästen von Abb. 19 zutage tretenden individuellen Beziehungen in eine neue Ähnlichkeitsgleichung umzuwandeln, könnte man die sämtlichen in Betracht kommenden dimensionslosen Kenngrößen formal kombinieren, was Cryder und Gilliland getan haben (5) und auch Schmidt vorgeschlagen hat (6). Dies führt zu verwickelten und schwer deutbaren Formeln. Wir haben uns statt dessen darauf beschränkt, auf Grund der von uns beobachteten Vorgänge eine möglichst einfache und plausible Ähnlichkeitsbeziehung abzuleiten.

Durch das Entstehen und Aufsteigen der Dampfblasen wird die Bewegung der Flüssigkeit an der Heizfläche verstärkt und damit der Wärmeübergang zwischen Heizfläche und Flüssigkeit, der primär für den ganzen Vorgang maßgebend ist (7). Diese Flüssigkeitsbewegung kann man weder unmittelbar messen noch berechnen; aber man kann Größen einführen, die mit ihr verbunden und für ihre Stärke maßgebend sind. Eine solche Größe ist das Verhältnis f/F des mit Dampfblasen besetzten Teiles f zu dem Gesamtbetrag F der Heizfläche. Die Teilfläche f wird nämlich in dauerndem Wechsel von den sich neu bildenden Blasen unter Verdrängung von Flüssigkeit eingenommen und beim Abreißen der Blasen wieder freigegeben, wobei Flüssigkeit in den frei werdenden Raum hineinstürzt. Ein Maß für f ist die Summe $n \frac{d_u^2 \pi}{4}$ aller Querschnitte der Dampfblasen, wobei d_u den Durchmesser einer Blase beim Abreißen und n die Anzahl von Stellen bedeutet, von denen Blasen aufsteigen.

Eine zweite für die Flüssigkeitsbewegung maßgebende Größe ist die Verdrängung des Wassers beim Aufsteigen der Blasen; sie wird die Geschwindigkeit beeinflussen, mit der sich der Wechsel der Flüssigkeit an der Teilfläche f vollzieht. Da das Volumen einer aufsteigenden Blase durch den Zustrom von Wärme aus dem etwas überhitzten Wasser von V_u bis V_o anwächst, so wird bei gleichem Verhältnis f/F die Rührwirkung der von einer Stelle der Heizfläche aufsteigenden Blasen um so größer sein, je größer V_o/V_u ist. Man kann daher versuchen, den Wärmeübergang durch eine einzige Kenngröße $\left(\frac{f}{F} \cdot \frac{V_o}{V_u}\right)$ auszudrücken[1]), d. h. durch die Beziehung

$$\frac{\alpha l}{\lambda} = \Psi\left(\frac{f^e}{F} \cdot \frac{V_0}{V_u}\right). \qquad (4)$$

Nun hat sich nach den schon erwähnten kinematographischen Aufnahmen von Dampfblasen bei einem Wasserstand h annähernd die Beziehung $\frac{V_x}{V_u} \sim \sqrt{x}$ ergeben, wo x den Abstand der aufsteigenden Blase von der Grundfläche und V ihr Volumen an dieser Stelle bedeutet (8). Unter der Annahme, daß diese Beziehung auch für verschiedene Wasserstände h gelte, somit auch

$$\frac{V_0}{V_u} \sim \sqrt{h} \qquad (5)$$

sei, könnte man darin einen Widerspruch zum Ansatz (4) vermuten, weil nach (4) und (5) h einen wesentlichen Einfluß auf den Wärmeübergang hätte, nach dem in Abschnitt III, C 1 beschriebenen Versuch aber nicht (vgl. Abb. 15). Dieser Einwand wird widerlegt durch das Ergebnis der im Abschnitt III, D 4 beschriebenen

[1]) Bezüglich der linken äußersten Enden unserer Versuchskurven gilt das im Abschnitt III, A 2 Gesagte (s. auch Abb. 12).

[1]) In einem vorläufigen Bericht, den der eine von uns (Linke) im Ausschuß für Wärmeforschung des Vereins Deutscher Ingenieure im Oktober 1934 erstattet hat, ist f/F als einzige Kenngröße benutzt worden.

Versuche, wonach die Zahl der Verdampfungsstellen n und damit $f = n\frac{d_u^2\pi}{4}$ beim Absinken des Wasserspiegels zunimmt, und zwar, wie Abb. 18 zeigt, zunächst nahezu umgekehrt proportional $\sqrt{h}$, z. B. zwischen $h_1 = 100$ mm und $h_2 = 49$ mm von $n_1 = 14$ auf $n_2 = 19$, während $n_2 = n_1\sqrt{\frac{x_1}{x_2}} = 14\sqrt{\frac{100}{49}}$ zu $n_2 = 20$ führen würde. Hiernach wird also zwar nicht V_o/V_u, aber $\frac{fV_o}{FV_u}$ praktisch unabhängig von h und besteht kein Widerspruch zwischen Gleichung (4) und Abb. 15.

Wenn h unter 50 mm sinkt, erhöht sich nach Abb. 18 die Zahl n nur noch wenig. In diesem Gebiet setzt aber statt dessen eine starke Zunahme der mittleren Überhitzung $\Delta\vartheta$ des Wassers über die Dampftemperatur ein, wie in einer früheren Arbeit nachgewiesen wurde (9). Durch diese wird eine stärkere Volumenzunahme der aufsteigenden Blase erzwungen, so daß V_o/V_u beim Sinken des Wasserspiegels entgegen Gleichung (5) konstant bleiben kann. Während also z. B. nach den kinematographischen Aufnahmen (bei einer Wasserhöhe $h \approx 100$ mm) das Volumen V_x einer von der Höhe $x_2 = 16$ mm bis zu $x_2 = 49$ mm aufsteigenden Blase etwa im Verhältnis $\sqrt{\frac{49}{16}} = \frac{7}{4}$, d. h. um etwa 75 Proz. zunimmt, würde das Endvolumen V_o einer bis zur Oberfläche ansteigenden Blase bei $h_2 = 49$ mm (wobei $\Delta\vartheta_2 \approx 0{,}6°$ beobachtet wurde), nur um 31 Proz. größer als bei $h_3 = 16$ mm ($\Delta\vartheta_3 \approx 0{,}8°$). Ferner sind infolge des geringeren Unterschiedes der Endvolumina der Blasen auch ihre für den Wärmeübergang maßgebenden Oberflächen weniger verschieden als im obigen Beispiel, so daß schließlich nur etwa 10 Proz. Volumenunterschied unerklärt bleiben dürfte.

Damit ist nachgewiesen, daß Gleichung (4) zu keinem unserer Meßergebnisse im Widerspruch steht. Sie muß nun nur noch in eine praktisch brauchbare Form gebracht werden:

Zunächst ist die charakteristische Länge l geeignet zu wählen. Da α nach Abschnitt III, A 2 praktisch unabhängig von der Lage der Fläche, nach Abschnitt III, C unabhängig von den Hauptdimensionen und der Anordnung von Gefäß und Flüssigkeit ist, bleiben für l nur Größen übrig, die für Teilbewegungen der Flüssigkeit in nächster Nähe der Heizfläche maßgebend sind. Es liegt daher nahe, den Durchmesser d_u der Blase beim Abreißen von der Heizfläche als charakteristische Länge einzuführen. Indem man ferner $f = n\frac{d_u^2\pi}{4}$, $V_o = \frac{d_o^3\pi}{6}$ und $V_u = \frac{d_u^3\pi}{6}$ einsetzt und oben und unten mit ν multipliziert, erhält man

$$\frac{fV_o}{FV_u} = \frac{3}{2}\,\frac{n}{F}\,\frac{d_o^3\,\frac{\pi}{6}\,\nu}{d_u\cdot\nu}, \qquad (6)$$

wobei ν die Anzahl der Dampfblasen ist, die sich an jeder Stelle in der Zeiteinheit bilden.

Nun ist das Gesamtvolumen des Dampfes, der sich in der Zeiteinheit gebildet hat, auf die Flächeneinheit bezogen,

$$\frac{n}{F}\,d_o^3\,\frac{\pi}{6}\,\nu = \frac{H}{r}\,v'', \qquad (7)$$

worin v'' das spezifische Volumen des gesättigten Dampfes und r die Verdampfungswärme bedeutet. Durch Einsetzen von (7) in (6) und von (6) in (4), wobei $\frac{3}{2}$ in das Funktionszeichen Ψ einbezogen wird, folgt

$$\frac{\alpha d_u}{\lambda} = \Psi\left(\frac{Hv''}{r}\cdot\frac{1}{d_u\nu}\right). \qquad (8)$$

Da alle in Gleichung (8) auftretenden Größen gemessen bzw. bekannt sind, kann (8) jetzt für H_2O und CCl_4 geprüft werden. Wir wollen aber vorher rechts (nach den Messungen der Abschnitte III, D 1 bis 3) $d_u \cdot \nu = w \approx$ const einführen, links die schwer zu ermittelnde Größe d_u folgendermaßen ersetzen:

Die Dampfblase reißt von der Heizfläche ab, sobald die Spannung ihrer Oberfläche durch die Auftriebskraft und die statischen Druckunterschiede überwunden wird. Für das Volumen der Blase gilt dabei die Beziehung

$$V_u\left(\frac{\gamma-\gamma''}{\sigma}\right)^{3/2} = \varphi(R). \qquad (9)$$

Hierin bedeuteten γ und γ'' die spezifischen Gewichte von Flüssigkeit und Dampf, R den äußeren Randwinkel zwischen der Dampfblase und der Fläche, auf der sie sitzt. Nach photographischen Aufnahmen von Luft- und Dampfblasen in Wasser auf unserer horizontalen Platte kann im Mittel $R \approx 50°$ angenommen werden. Hierzu gehört nach Fritz, der Werte der Funktion φ aus den Tabellenwerten von Bashforth und Adams (10) berechnet und tabelliert hat[1]), $\varphi(R) = 0{,}578$. Hiermit ergäbe sich nach Gleichung 9, da γ'' gegenüber γ zu vernachlässigen ist, $V_u = 0{,}578\left(\frac{\sigma}{\gamma}\right)^{3/2}$ und für die nach dem

1) Wir danken Herrn Dipl.-Ing. W. Fritz für die Mitteilung dieser noch unveröffentlichten Werte und für manchen Rat.

Tabelle III.

Stoffwerte und charakteristische Größen zur Auswertung der Gleichungen (10) und (11) (sämtlich für normalen Siedepunkt).

Stoff	$\sigma \cdot 10^3$ $\frac{kg}{m}$	$1{,}034\sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}} \cdot 10^3 = d_{u(ber)} \cdot 10^3$ m	$d_{u(gem)} \cdot 10^3$ m	ν $\frac{1}{s}$	$w \cdot 10^3 = d_{u(gem)} \cdot 10^3 \cdot \nu$ $\frac{m}{s}$	v'' $\frac{m^3}{kg}$	r $\frac{kcal}{kg}$
H_2O	6,00	2,6	2,8	28	78,4	1,675	539
CCl_4	2,06	1,2	1,1	70	77,0	0,182	46

Abreißen als kugelförmig angenommene Blase

$$d_u = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi}\, q(R)} \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}} = 1{,}034 \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}}. \qquad (10)$$

Die hiernach berechneten Werte von d_u stimmen gemäß Tabelle II und III mit den von uns bei H_2O und CCl_4 gemessenen häufigsten Werten (s. Abschnitt III, D 1) befriedigend überein.

Durch Einsetzen von (10) in (8), wobei nun auch 1,034 in das Funktionszeichen Ψ einbezogen werden möge[1]), folgt endlich:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}} = \Psi\left(\frac{H v''}{r w}\right). \qquad (11)$$

In Abb. 20 ist $\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}}$ gegen $\frac{H v''}{r w}$ (entsprechend den Abb. 12 und 19) logarithmisch aufgetragen. Hiernach laufen im Gebiet hoher Belastung die Kurven tatsächlich zusammen, und zwar in eine Gerade, d. h. daß man den Wärmeübergang auch in diesem Gebiet durch eine Potenzformel darstellen kann. Dagegen ergeben sich jetzt, wie zu erwarten war, bei kleinen Belastungen für verschiedene Stoffe und verschiedene Lage der Heizfläche individuelle Linienzüge. In Abb. 20 sind auch die Ergebnisse unserer Messungen mit Nekallösungen eingetragen. Da diese bei nur einer Belastung H durchgeführt wurden und im Bereich der verwendeten Konzentrationen für γ, λ, v'', r, w mit genügender Annäherung die Werte für Wasser eingesetzt werden können, liefern diese Messungen in Abb. 20 nur einen Punkt.

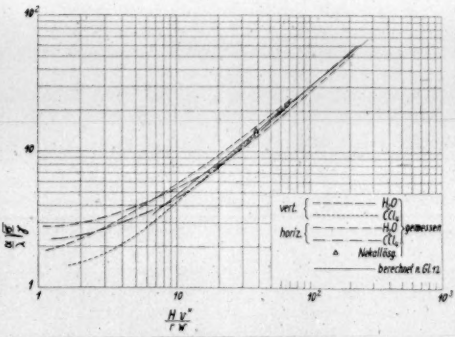


Abb. 20. Für das Gebiet der Rührwirkung der Dampfblasen geeignete dimensionsfreie Darstellung des Wärmeüberganges.

Aus Gleichung (11) folgt, daß α proportional $\frac{1}{\sqrt{\sigma}}$ sein muß. Der Vergleich der α-Kurven nach unmittelbarer Messung und nach Berechnung aus $\alpha \sim \frac{1}{\sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}}}$ zeigt (Abb. 14), daß dies in der Tat angenähert der Fall ist. Die größeren Abweichungen bei kleinem σ, d. h. bei größeren Nekalkonzentrationen, rühren wahrscheinlich davon her, daß auch die übrigen Stoffwerte sich mit der Konzentration etwas ändern.

Aus Abb. 20 folgt, wenn man die ausgezogene mittlere Gerade für die hohen Belastungen zugrunde legt,

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}} = 30 \cdot \left(\frac{H v''}{r w}\right)^{0.8}. \qquad (12)$$

Diese Gleichung gibt unsere Versuche im Gebiet der Rührwirkung der Dampfblasen an horizontaler und vertikaler Heizfläche für H_2O, CCl_4 und Nekallösungen befriedigend wieder. Dabei kann für reine Flüssigkeiten zunächst $w = \text{const} \approx \frac{77{,}7 \cdot 3600}{1000} = 280$ m/h eingesetzt werden. Wie weit Gleichung (12) für andere Stoffe zutrifft, wäre noch nachzuprüfen. Vorläufig kann sie mindestens als Orientierungsformel zur Berechnung des Wärmeüberganges an glatten Flächen dienen.

1) Genau genommen ginge nach Gleichung (10) der Faktor $\sqrt[3]{q(R)}$ in die Kenngröße Nu mit ein; dies kann beim Vergleich von Stoffen mit sehr verschiedenem Randwinkel R, z. B. von Wasser und Quecksilber, von Einfluß sein.

V. Vergleich mit fremden Beobachtungen.

Über eine ähnliche Untersuchung wie die unsrige, jedoch an viel mehr Stoffen, haben Cryder und Gilliland einen Vortrag gehalten (5). Sie haben einen 9,8 cm langen horizontalen zylindrischen Heizkörper von 2,6 cm Durchmesser benutzt, der nach jedem Versuch aus der Flüssigkeit herausgenommen und frisch poliert wurde. Ihre Ergebnisse fassen sie auf Grund von rein formalen Dimensionsbetrachtungen zusammen durch die Gleichung

$$N \cdot \frac{\alpha l}{\lambda} = 0{,}38 \left(\frac{c_p \eta g}{\lambda} \right)^{0{,}425} \left(M \cdot \frac{l^2 \gamma^2 \lambda \Theta}{\eta^3 g^2 A} \right)^{2{,}39} \left(\frac{\eta^2 g}{l \gamma \sigma} \right)^{1{,}65}, \qquad (13)$$

in der l den Durchmesser des Zylinders bedeutet und in der wir noch das Wärmeäquivalent $A = 1/426{,}9$ kcal/mkg der Arbeitseinheit und die Konstanten $M = 0{,}173 \cdot 10^{-12}$ und $N = 3{,}74 \cdot 10^{-12}$ eingeführt haben, um bei Verwendung des deutschen technischen Maßsystems die Meßwerte der Amerikaner durch ihre Gleichung wiedergeben zu können. Diese Gleichung stellen die Verfasser dar durch die in Abb. 21 strichpunktiert wiedergegebene lange Gerade, neben der wir — ebenfalls strichpunktiert — ihre Meßergebnisse für H_2O und CCl_4 eingetragen haben. Nach der gleichen Formel behandelt (mit der Höhe $l = 0{,}15$ m für vertikale und dem Plattendurchmesser $l = 0{,}10$ m für horizontale Heizfläche) ergeben unsere Versuche die beiden Kurvenpaare rechts oben (v, ausgezogen, für vertikale und h, gestrichelt, für horizontale Heizfläche). Die Versuchsgrenzen von Cryder und Gilliland sind durch kurze Striche senkrecht zu den Kurven v angedeutet[1]). Ihre Versuchsergebnisse weichen außerordentlich stark von den unsrigen ab.

In der Diskussion zu ihrem Vortrag hat King (11) darauf hingewiesen, daß auf Grund einiger von ihm ausgeführter Versuche die Dimensionen der Heizfläche entgegen Gleichung (13) keinen Einfluß auf das Ergebnis ausüben. Dies stimmt mit unseren Erfahrungen bei hoher Heizflächenbelastung überein. Da nach diesen nur eine von der Flüssigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Heizfläche abhängige Länge maßgebend ist, wird ein besserer Vergleich möglich, wenn man bei der Darstellung unserer Ergebnisse nach Gleichung (13) die gleiche Länge einsetzt wie die amerikanischen Beobachter, also $l = 2{,}6$ cm. Dabei erhält man die beiden unteren, immer noch hoch über den amerikanischen Geraden liegenden Kurvenpaare. Die Einführung unserer Werte d_u als charakteristische Länge für unsere und die amerikanischen Messungen würde nur eine beträchtliche Parallelverschiebung sämtlicher Kurven ohne Änderung ihrer Abstände bringen. Der Vergleich[1]) ergibt also viel größere Werte von α und andere Gesetzmäßigkeiten nach unseren als nach den amerikanischen Messungen. Die Unterschiede können

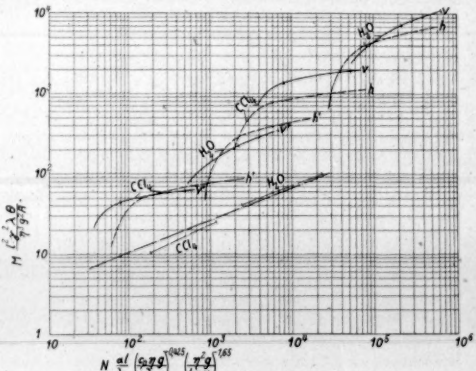


Abb. 21. Vergleich der Versuchsergebnisse mit fremden Beobachtungen.

(Strichpunktierte Linien nach Cryder und Gilliland: $l = 0{,}026$ m

Ausgezogene Linien nach Jakob und Linke:
Vertikale Heizfläche; v berechnet mit $l = 0{,}15$ m
v' berechnet mit $l = 0{,}026$ m

Gestrichelte Linien nach Jakob und Linke:
Horizontale Heizfläche; h berechnet mit $l = 0{,}10$ m
h' berechnet mit $l = 0{,}026$ m

Kurze Striche senkrecht zu den Kurven: Grenzen der amerikanischen Beobachtungen.)

1) Wie bekannt ist (s. auch Abb. 20), entspricht bei freier Konvektion der Wärmeübergang an einem horizontalen Zylinder vom Durchmesser l annähernd dem an einer senkrechten Wand von der Höhe l. Daher wird auch im Gebiet der Rührwirkung der Blasen der Vergleich zunächst auf dieser Grundlage durchgeführt. Der Erfahrung, daß der Wärmeübergang in diesem Gebiet von der Lage und Größe der Heizfläche kaum abhängt, wird dann im folgenden Absatz Rechnung getragen.

1) Beim Vergleich ist zu bedenken, daß $H = \alpha \cdot \Theta$. Es sind also in Abb. 21 nur solche Punkte miteinander zu vergleichen, bei denen das Produkt aus Abszisse und Ordinate gleich ist.

zum Teil daher rühren, daß die amerikanischen Beobachter Anfangswerte für frisch polierte Heizflächen, wir aber die sich im Laufe der Zeit einstellenden Mindestwerte des Wärmeübergangs zugrunde gelegt haben. Wir können daher für glatte Flächen und übliche Betriebsbedingungen die Verwendung der amerikanischen Gleichung (13) nicht empfehlen, sondern glauben, daß unsere Gleichung (12) dabei vorzuziehen ist. Unsere Versuche werden übrigens mit anderen Flüssigkeiten und mit Wasser bei hohem Druck fortgesetzt.

VI. Zusammenfassung.

Es wird über umfangreiche Versuche über den Wärmeübergang von vertikalen und horizontalen Heizflächen an siedende Flüssigkeiten (Wasser, Tetrachlorkohlenstoff, sowie Lösungen des Netzstoffes „Nekal" in Wasser) berichtet. Mit CCl_4 und horizontaler Heizfläche wurde dabei die hohe Belastung von 240000 kcal/m²h, entsprechend einer stündlichen Verdampfung von 5200 kg auf 1 qm Heizfläche erreicht.

Für den Wärmeübergang wurden Ähnlichkeitsbeziehungen aufgestellt. Diese entsprechen bis zu Heizflächenbelastungen von etwa 2000 bis 4000 kcal/m²h bei vertikaler und 5000 bis 10000 kcal/m²h bei horizontaler Heizfläche den bekannten Gleichungen für freie Konvektion ohne Änderung des Aggregatzustandes. Dabei ergab sich für horizontale Heizflächen, wohl infolge früheren Eintretens der Turbulenz, ein besserer Wärmeübergang als für vertikale Heizflächen.

Oberhalb der genannten Belastungsgrenzen setzt kräftige Rührwirkung der sich an der Heizfläche bildenden und aufsteigenden Dampfblasen ein, und dadurch schlägt das Gesetz des Wärmeüberganges um. Unter Zuhilfenahme von Messungen des Einflusses von Gefäßgröße und Flüssigkeitsstand, der Größe und Frequenz der Dampfblasen und der Zahl der Stellen ihres Entstehens gelang es, auch für dieses Gebiet eine einfache Ähnlichkeitsbeziehung aufzustellen und zu begründen, wonach bei reinen Flüssigkeiten der im Lauf vieltägiger Versuche auftretende Mindestwert der Wärmeübergangszahl der 0,8ten Potenz der Heizflächenbelastung direkt und der Wurzel der Oberflächenspannung umgekehrt proportional ist.

Der Vergleich mit Ergebnissen ähnlicher Versuche von Cryder und Gilliland an frisch polierten Heizflächen führt zu der Auffassung, daß die von diesen aufgestellten Formel für den Wärmeübergang bei verschiedenen verdampfenden Flüssigkeiten für übliche Betriebsbedingungen nicht zu verwenden ist.

Literaturverzeichnis.

1) M. Jakob u. W. Fritz, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens **2**, 435, 1931.
2) M. Jakob u. W. Linke, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens **4**, 75, 1933.
3) M. Jakob u. W. Linke, a. a. O. S. 77.
4) M. Jakob, VDI-Zeitschr. **76**, 1161, 1932.
5) D. S. Cryder u. E. R. Gilliland, Refrigerating Engineering **25**, 78, 1933.
6) E. Schmidt, VDI-Forschungsheft Nr. 365, 1934.
7) M. Jakob u. W. Fritz, a. a. O. S. 446.
8) M. Jakob, a. a. O., nach den dort wiedergegebenen Abbildungen 14 und 16 (obere Kurve) berechnet.
9) M. Jakob u. W. Fritz, a. a. O. S. 442, Abb. 14—17.
10) Fr. Bashforth u. J. Adams, Capillary Action, Cambridge 1883.
11) W. J. King, Refrigerating Engineering **25**, 83, 1933.

(Eingegangen 22. Februar 1935.)

Zur Geschichte der Entdeckung der Röntgenstrahlen.

Von J. Stark.

Als Leiter des Physikalischen Institutes der Universität Würzburg in den Jahren 1920 und 1921 habe ich aus Anlaß eines Vortrages über Röntgens Entdeckung Nachforschungen über die Tatsachen angestellt, welche in Zusammenhang mit dieser stehen. In neuerer Zeit sind von mehreren Seiten Behauptungen über das Zustandekommen über Röntgens Entdeckung aufgestellt worden, welche nicht der Wahrheit entsprechen. Aus diesem Grunde sei das Ergebnis meiner Nachforschungen zur Kenntnis der Öffentlichkeit gebracht.

Zunächst sei die Tatsache festgestellt, daß Röntgen vor dem Jahre 1894 keine Untersuchungen veröffentlichte, welche die elektrische Strömung in verdünnten Gasen, insonderheit die Kathodenstrahlen, zum Gegenstand haben. Vielmehr hat Röntgen erst im Anfang des Jahres 1894 durch die bahnbrechende Arbeit Lenards über „Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äußersten Vakuum" die Anregung erhalten, über Kathodenstrahlen Beobachtungen anzustellen. Die Arbeit Lenards erschien im Februar oder März des Jahres 1894 in Wiedemanns Annalen, Bd. 51, S. 225. In ihr ist in einer Fußnote auf S. 228 folgende Angabe über eine Sonderkonstruktion der Lenardschen Kathodenstrahlröhre enthalten:

„Die Glasumhüllung des Kathodendrahtes wird durchschlagen, besonders leicht zwischen

h_0 u. h_1. Diese Gefahr ist bedeutend vermindert bei einer Röhre, welche Hr. Glastechniker Müller-Unkel in Braunschweig kürzlich verfertigte. Die Glashülle der Kathode ist hier in das Entladungsrohr eingeschmolzen; außerdem sitzt das Fenster an einem eingeschmolzenen Platinröhrchen, so daß jede weitere Kittung vermieden ist. Das Rohr hat sich gut bewährt."

Am 4. Mai 1894 richtete Röntgen an den Glastechniker Müller-Unkel folgendes Schreiben:

„Würzburg, den 4. 5. 94.

Herrn Müller-Unkel, Glastechniker,

Braunschweig.

In der Arbeit des Herrn Dr. Lenard finde ich die Notiz, daß sich ein von Ihnen konstruierter Entladungsapparat gut bewährt hat. (Wied. Ann. 51, p. 228.) Ich ersuche Sie deshalb, mir einen solchen baldmöglichst zu liefern.

Hochachtungsvoll

gez. Prof. Dr. W. C. Röntgen,
Physik. Institut der Univ."

Es liegt ein Schreiben von Röntgen vor, in welchem er mitteilte, für welchen Zweck er die Lenardsche Kathodenstrahlröhre bei dem Glastechniker Müller-Unkel bestellte. Er wandte sich nämlich an Lenard mit der Anfrage nach einer Quelle für den Bezug von Aluminiumblättchen für das Lenardsche Fenster. Sein Schreiben hat folgenden Wortlaut:

„Würzburg, 4. 5. 94.

Physik. Institut
d. Univers. Würzburg.

Sehr geehrter Herr Doctor!

Ich möchte gerne Ihren wichtigen Versuch über Kathodenstrahlen in der freien Atmosphäre etc. sehen und habe mir dazu bei Müller-Unkel einen ‚bewährten' Entladungsapparat bestellt. Für den Bezug der Fensterblättchen fehlt mir aber eine zuverlässige Quelle; vielleicht haben Sie die Freundlichkeit, mir eine solche per Postkarte anzugeben.

Hochachtungsvollst

Ihr ergebener
gez. Dr. W. C. Röntgen."

Dieses Schreiben hat Lenard in der Weise beantwortet, daß er Röntgen löcherfreie Aluminiumblättchen aus seinem eigenen Vorrat sandte. Hierfür bedankte sich Röntgen mit folgenden Zeilen auf einer Postkarte:

„Würzburg, 8. 5. 94.

Sehr geehrter Herr Doctor!

Empfangen Sie für die liebenswürdige Zusendung der Aluminiumblättchen meinen verbindlichsten Dank.

Ihr ergebener
gez. W. C. Röntgen."

Daß Röntgen die bestellte Lenardsche Kathodenstrahlröhre von dem Glastechniker Müller-Unkel tatsächlich erhalten hat, geht aus folgender Eintragung im Inventar des Würzburger Physikalischen Institutes hervor:

„M 93. Kathodenstrahlenröhre nach Lenard von Müller-Unkel, Braunschweig, 1894 M. 36.50."

Die Lenardsche Kathodenstrahlröhre, welche der Glastechniker Müller-Unkel nach den Angaben Lenards für Röntgen hergestellt hatte, hat die entscheidende Rolle bei der Entdeckung Röntgens gespielt. Gemäß den obigen urkundlichen Zeugnissen steht nämlich fest, daß Röntgen die Lenardsche Kathodenstrahlröhre dazu benutzte, die aufsehenerregenden Beobachtungen Lenards über die Kathodenstrahlen in freier Luft außerhalb der Entladungsröhre zu wiederholen. Für derartige Beobachtungen kam allein die Lenardsche Kathodenstrahlröhre in Betracht, nicht etwa eine der von Hittorf oder Crookes angegebenen Röhren; denn aus diesen können ja keine Kathodenstrahlen durch die Glaswand hindurch in die freie Luft austreten. Röntgen selbst hat zweimal bestätigt, daß er mit der Lenardschen Kathodenstrahlröhre Röntgenstrahlen erhalten hat, daß er also Beobachtungen an dieser Röhre durchgeführt hat. So stellt er an der Spitze seiner ersten Mitteilung „Über eine neue Art von Strahlen" fest, daß man mit einem „genügend evakuierten Lenardschen Apparat" die neue Art von Strahlen erhalten kann. Und in seinem Vortrag vor der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg am 23. Januar 1896 hat Röntgen eingestanden, daß seine Entdeckung ihren Ausgang von den Lenardschen Untersuchungen über Kathodenstrahlen genommen hat. In einem Bericht über diesen Vortrag im Würzburger Generalanzeiger, 14. Jahrgang, Nr. 19, heißt es nämlich:

„Nach einleitenden Worten über die Natur der Hittorfschen Röhren, über Kathodenrohre usw. besprach Röntgen die Entdeckung von Hertz in Bonn, daß Kathodenstrahlen die Fähigkeit haben, durch Metallplättchen zu dringen und ging dann auf die Arbeiten Lenards über, dem er ein unbeschränktes Lob spendete.

Diese Versuche hätten ihn selbst zu weiteren Arbeiten geführt, aber seine Entdeckung selbst verdanke er dem Zufall."

Nach den Angaben Röntgens steht also fest, daß der Gegenstand seiner Beobachtungen, welche zu seiner Entdeckung führten, die Kathodenstrahlen in freier Luft waren, zu deren Herstellung allein die Lenardsche Kathodenstrahlröhre dienen konnte, welche er von dem Glastechniker Müller-Unkel bezogen hatte. Es gilt nun weiter festzustellen, wie der Vorgang der Entdeckung verlief, worin insbesondere der „Zufall" nach Röntgens eigenen Worten bestand. Diese Feststellung läßt sich wiederum auf Grund einer Mitteilung treffen, welche Röntgen selbst in der Würzburger Sitzung am 23. Januar 1896 machte. Sie ist in folgendem Bericht enthalten, welchen die Münchener Medizinische Wochenschrift, Bd. 43, S. 88, 1896, über denselben Vortrag gab:

„Beim Experimentieren mit Kathodenstrahlen bemerkte nun Röntgen, daß ein auf dem Tische befindliches, mit Bariumplatincyanür bestrichenes Papierblättchen bei jeder Entladung fluoreszierte, trotzdem die Hittorfsche Röhre von einer schwarzen Kartonhülse eingeschlossen war, und konnte sich leicht überzeugen, daß die Ursache der Fluoreszenz vom Entladungsapparat und von keiner anderen Seite der Leitung ausging."

Durch die eigene Angabe Röntgens ist also festgestellt, daß er seine Entdeckung „beim Experimentieren mit Kathodenstrahlen" machte; ferner ist festgestellt, daß die Röhre, mit welcher er experimentierte, in einem schwarzen Karton eingeschlossen war. Aus diesen zwei Feststellungen folgt mit zwingender Logik, daß die Röhre, mit deren Hilfe Röntgen seine Entdeckung machte, eine Lenardsche Kathodenstrahlröhre gewesen ist. Denn hätte Röntgen an Kathodenstrahlen in einer Hittorfschen oder Crookesschen Röhre Beobachtungen anstellen wollen, so hätte er diese nicht in einen schwarzen Karton einschließen dürfen, weil er ja dann keine Wirkungen an den in der Röhre eingeschlossenen Kathodenstrahlen hätte beobachten können. Dagegen konnte wohl die Lenardsche Kathodenstrahlröhre völlig in einem schwarzen Karton eingeschlossen sein, so daß zwar an den in ihrem Innern verlaufenden Kathodenstrahlen keine Beobachtungen angestellt werden konnten, wohl aber an denjenigen Kathodenstrahlen, welche durch das Lenardsche Aluminiumfenster aus der Röhre in die freie Luft austraten. Was also in dem Bericht der Münchener Medizinischen Wochenschrift „die Hittorfsche Röhre" – es gab in Wirklichkeit eine ganze Anzahl von Hittorfschen Röhren – genannt ist, kann nur die Lenardsche Kathodenstrahlröhre gewesen sein, mit der Röntgen nach seinem eigenen Geständnis an einer anderen Stelle seines Vortrages und in seiner angeführten ersten Mitteilung („genügend evakuierter Lenardscher Entladungsapparat") gearbeitet und Röntgenstrahlen erhalten hat.

Nach diesen Feststellungen ist also die Röntgensche Entdeckung in folgender Weise zustande gekommen. Röntgen stellte Beobachtungen über die Kathodenstrahlen an, welche aus der von ihm benutzten Lenardschen Kathodenstrahlröhre in die freie Luft austreten konnten. Er bediente sich dabei zum Nachweis der in der freien Luft verlaufenden Kathodenstrahlen eines mit Bariumplatinzyanür bestrichenen Papierblättchens. Damit er die Fluoreszenz, welche Kathodenstrahlen an dem Bariumplatinzyanür hervorrufen, beobachten konnte, mußte er den Arbeitsraum verdunkeln und außerdem das störende Licht ausschließen, welches aus dem Innern der Lenardschen Kathodenstrahlröhre kam. Zu diesem Zwecke hatte er die Kathodenstrahlröhre in einen eng anliegenden schwarzen Karton gehüllt. Die Lenardsche Kathodenstrahlröhre mochte 10–40 cm oberhalb der Tischplatte sich befinden. Bei den Versuchen lag nun einmal der Bariumplatinzyanürschirm zufällig unmittelbar unter der Lenardschen Kathodenstrahlröhre, als das Induktorium zum Betrieb der Röhre eingeschaltet wurde und die Kathodenstrahlen auf das der Kathode gegenüberliegende Ende der Röhre auffielen. Sowie dies geschah, mußte in dem verdunkelten Zimmer der Bariumplatinzyanürschirm aufleuchten unter der Wirkung der Röntgenstrahlen, welche, wie wir heute wissen, von der Auftreffstelle schneller Kathodenstrahlen ausgehen. Jeder andere einigermaßen erfahrene Physiker mußte sich wie Röntgen, als er diese Beobachtung machte, sofort sagen, daß das Aufleuchten des Bariumplatinzyanürschirmes durch Strahlen hervorgebracht wurde, welche für sich selbst dem Auge unsichtbar und durch die schwarze Kartonhülle der Kathodenstrahlröhre hindurchgegangen waren.

Bei diesem Vorgang der Entdeckung Röntgens wirkten drei Zufälligkeiten zum Erfolg zusammen: Erstens hatte Röntgen eine ausgezeichnete Lenardsche Kathodenstrahlröhre in der Hand, wie sie nicht einmal Lenard selbst bis dahin zur Verfügung gestanden hatte. Zweitens verwendete er zur Abdunkelung der Kathodenstrahlröhre nicht wie Lenard, ein Gehäuse aus Zinkblech, sondern „einen ziemlich eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzen Karton". So wurde die Intensität der Röntgenstrahlen nicht wie im Falle Lenards durch die

Absorption im Zinkblech stark geschwächt. Freilich war die Verwendung eines schwarzen Kartons zur Einhüllung der Röhre im Falle Röntgens nicht so einwandfrei wie die Verwendung eines Zinkblechkastens im Falle Lenards; denn wohl der Zinkblechkasten schloß das Auftreten elektrischer Felder und unter Umständen dunkler Entladungen im Beobachtungsgebiete aus, dagegen war dies bei Verwendung des schwarzen Kartons im Falle Röntgens wohl möglich.

Eine dritte, ebenso wichtige Zufälligkeit war der Umstand, daß Röntgen für seine Beobachtungen an Kathodenstrahlen als Leuchtschirm nicht wie Lenard Pentadezylparatolylketon, sondern Bariumplatinzyanür auf Papier benutzte. Die erste Substanz spricht nämlich wohl auf Kathodenstrahlen, aber nur sehr schwach auf Röntgenstrahlen an, während Bariumplatinzyanür das lichtstärkste Präparat für den Fluoreszenznachweis der Röntgenstrahlen ist.

Mit den vorstehenden Feststellungen über den Vorgang der Entdeckung der Röntgenstrahlen soll in keiner Weise das Verdienst geschmälert werden, das sich Röntgen durch die eingehende Untersuchung der von ihm entdeckten Strahlen erworben hat.

Berlin-Charlottenburg, Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

(Eingegangen 21. Februar 1935.)

Über die von einer Lenard-Fensterröhre mit Platinansatz ausgehenden Röntgenstrahlen.

Von F. Schmidt

In der vorangehenden Mitteilung von J. Stark ist mit aller historischen Strenge gezeigt, daß Röntgen die nach ihm benannte Strahlung mit einer Lenardschen Fensterröhre und nicht mit einer Hittorfschen oder Crookesschen Röhre entdeckt hat. Benutzt hat er zweifellos das Entladungsrohr mit dem Platinverschluß, welches Lenard in seiner grundlegenden Arbeit „Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äußersten Vakuum“[1]) angibt und dessen Bau und Wirkungsweise er in seinem Nobelvortrag[2]) beschreibt. Ich habe ein Kathodenstrahlrohr in Heidelberg neu herstellen lassen, das in allen seinen Ausmaßen und Einrichtungen dem im Jahre 1894 an Röntgen gelieferten entspricht[1]), und berichte im folgenden über einige Versuche, welche die von ihm ausgehenden Röntgenstrahlen zum Gegenstand haben. Der Zweck dieser Versuche ist, zu zeigen, daß Röntgen bei Benutzung der Lenardröhre in gutem Zustande und als Leiter eines physikalischen Instituts mit Hilfsmitteln zur Wiederholung der Lenardschen Kathodenstrahlversuche reichlich versehen, die neue Strahlung zwangsläufig finden mußte.

In der Fig. 1 ist ein Lichtbild dieser Röhre gegeben. Man erkennt nach oben gerichtet einen Glasansatz, in den die Anode aus Aluminium vermittels eines Platindrahtes eingeschmolzen ist. Die Einschmelzstelle trägt eine Schutzkappe aus Messing. Die Anode ist in der Röhre mit einem Zylinder aus Aluminium von 70 mm Länge verbunden. Die Kathode (auf der rechten Seite der Fig. 1) besteht aus einer 1,5 mm dicken kreisförmigen Aluminiumscheibe von 11 mm Durchmesser und sitzt auf einem 250 mm langen Stiel aus Aluminium. Letzterer ist eingeschmolzen in eine Glaskapillare, die ihn in seiner ganzen Länge umgibt und die ihrerseits in das Entladungsrohr eingeschmolzen ist. Auf der linken Seite der Fig. 1 erblickt man das in die Röhre eingeschmolzene Platinröhrchen von 40 mm Länge, 6 mm Innendurchmesser und 0,2 mm Wandstärke. Es trägt auf seinem außerhalb der Röhre befindlichen Ende eine kreisförmige Messingscheibe von 1 mm Dicke und 12 mm Durchmesser. Diese besitzt eine zentrale, 1,7 mm weite Bohrung mit abgerundeten äußeren Rändern, auf die eine löcherfreie Aluminiumfolie von rund 0,003 mm Dicke luftdicht aufgekittet ist, das bekannte Lenardfenster. Nach unten ist in der Figur der zur Pumpe führende Glasansatz zu sehen.

Das Rohr mit dem Platinansatz befand sich bei meinen Versuchen auf einer rotierenden Quecksilberpumpe mit Ölvorpumpe und war mit einem Induktorium mittlerer Schlagweiten verbunden[2]). Die seitlich angebrachte Anode der

1) P. Lenard, Wied. Ann. **51**, 225fd., 1894; abgeschlossen im Dezember 1893.

2) P. Lenard, Nobelvortrag, „Über Kathodenstrahlen“, Leipzig, J. A. Barth, 1906, S. 16, Fig. 9. Neuherausgabe Walter de Gruyter & Co., Berlin u. Leipzig 1920, S. 26, Abb. 9.

1) Das Entladungsrohr wurde von der Firma W. Vetter, Heidelberg, nach Angaben des Verfassers geblasen; die Inneneinrichtung wurde von dem Mechaniker der physikalisch-technischen Abteilung des physikalischen Instituts, Fritz Leible, unter der Leitung des langjährigen Mechanikers von Lenard, Alexander Eichler, nach Angaben des Verfassers hergestellt. Das fertige Rohr wurde von Herrn Geh. Rat Lenard begutachtet und als identisch mit den seinerzeit von Müller-Unkel gelieferten Röhren gefunden.

2) Die Anordnung war vom Direktor des physikalischen Institutes in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt worden.

Röhre mit dem Aluminiumzylinder war in leitender Verbindung mit dem der Kathode gegenüberstehenden Platinröhrchen, so daß also letzteres als Anode wirkte. Gearbeitet wurde mit den gleichen Entladungsspannungen, wie sie Röntgen bei seinen Versuchen mit dieser Lenardröhre angewandt hatte[1]); es waren dies rund 50 kV. Das Induktorium arbeitete mit einem Quecksilberstiftunterbrecher, der durch ein Uhrwerk betrieben jede Sekunde eine Entladung durch die Röhre gehen ließ. Die Röhre war nach der Vorschrift Röntgens[2]) „mit einem eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzen Karton" allseitig bedeckt; die Zuleitung zur Pumpe war mit einem schwarzen

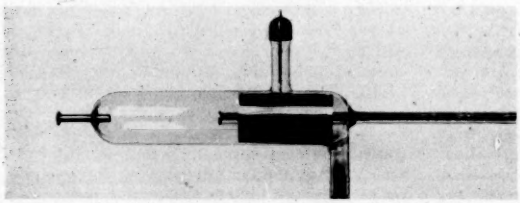


Fig. 1. Nachbildung der im Jahre 1894 vom Glastechniker Müller-Unkel in Braunschweig an Röntgen gelieferten Lenardröhre.

Tuche umwickelt. In Fachzeitschriften und Büchern aus neuerer Zeit ist bei der Schilderung von Röntgens Entdeckung zuweilen angegeben, daß „Röntgen die Lenardsche Röhre nach Lenards Vorschrift mit schwarzem Papier umhüllt habe". Diese Angabe ist irrig; Lenard hat bei seinen Untersuchungen niemals die Kathodenröhren mit schwarzem Papier umhüllt gehabt. Das geht zweifelsfrei aus der Abbildung seines Apparates in Wied. Ann. Bd. 51, Fig. 1, 1894, und aus der genauen Beschreibung desselben auf S. 228 dorten hervor. Stets hat Lenard ein zur Erde geleitetes Zinkblechgehäuse benutzt, das den Beobachtungsraum „vor dem Licht und den elektrischen Kräften der Entladung schützen sollte". Wer die Lenardschen Kathodenstrahlversuche nur wiederholen will, wie seinerzeit Röntgen, erleichtert sich dies durch Umhüllung der Röhre mit schwarzem Papier.

Als Leuchtschirm zum Nachweis der Röntgenstrahlen, die von der Lenardröhre ausgehen, wurde bei den Versuchen eine mit Platinbariumzyanür bestrichene Glasplatte von 9 × 12 cm Fläche benutzt. Eine Glasplatte an Stelle vom Papier als Träger des Leuchtstoffes gibt den Vorteil, die Fluoreszenz des Platinbariumzyanürs auch auf der Rückseite des Schirmes beobachten zu können.

Die Versuche zum Nachweis der Röntgenstrahlen mit dem Platinbariumzyanürschirm erfolgten in zwei Beobachtungsrichtungen, und zwar senkrecht zur Längsachse der Röhre und in Richtung der Längsachse der Röhre.

Beobachtungen senkrecht zur Längsachse.

Wurde der Schirm dem Platinröhrchen gegenüber in etwa 1 cm Abstand von der Glaswand der Röhre aufgestellt, so leuchtete er bei jedem Entladungsschlage intensiv auf. Wurde dann der Schirm in der gleichen Entfernung im Kreise um die Röhre herumgeführt, so blieb die Intensität seines Aufleuchtens gleich. Bei Verschiebungen des Schirmes in der Richtung vom Fenster zum Pumpenansatz (vgl. Fig. 1) in der angegebenen Entfernung wurde die Intensität des Aufleuchtens stetig schwächer. In der Stellung gegenüber dem Anodenzylinder leuchtete der Schirm infolge Schattenwurfes des Zylinders nur etwa zur Hälfte auf.

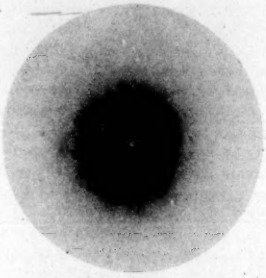
Das Aufleuchten des Schirmes bei jedem Entladungsschlage war auch in größeren Abständen von der Röhre als 1 cm sichtbar. Es konnte bis zu 50 cm Abstand gut beobachtet und bei größeren Abständen bis zu etwa 1 m noch schwach bemerkt werden.

Die Röntgenstrahlen, die hier beobachtet wurden, gehen insbesondere vom Platinrohr und auch von der benachbarten Innenwand des Entladungsrohres (vgl. Fig. 1) nach allen Richtungen des Raumes aus und durchdringen die Glaswand und den Karton. Lag also bei den Versuchen Röntgens mit der in schwarzem Karton gehüllten Lenardröhre ein für die Beobachtung der Kathodenstrahlen notwendiger Platinbariumzyanürschirm in etwa 10—50 cm Entfernung neben oder unter der Röhre, so mußte Röntgen beim Betrieb der Röhre im verdunkelten Zimmer ein Leuchten des Schirmes sofort bemerken.

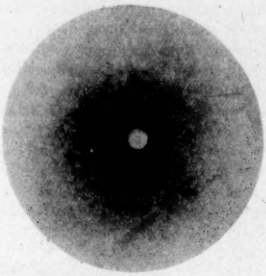
Beobachtungen in Richtung der Längsachse.

Hierbei befand sich der Platinbariumzyanürschirm vor dem Aluminiumfenster der Röhre und wurde in Richtung der verlängerten Längsachse vom Fenster weg verschoben. Die Schichtseite des Schirmes war dabei mit einem dünnen

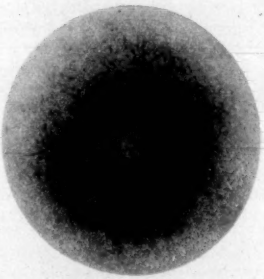
1) W. C. Röntgen, I. Mitteilung, Sitzber. d. Phys.-med. Ges. Würzburg **132**, 7, 1895.
2) W. C. Röntgen, 1. Mitteilung, a. a. O. S. 1.



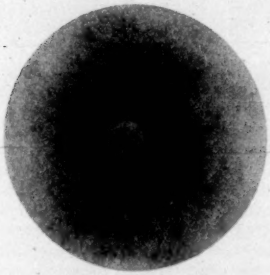
a
In 3 cm Entfernung vom Lenardfenster.



b
In 6 cm Entfernung vom Lenardfenster.



c
In 8 cm Entfernung vom Lenardfenster.



d
In 10 cm Entfernung vom Lenardfenster.

Fig. 2. Photographische Aufnahmen der Ringerscheinung (2/3 natürlicher Größe).

schwarzen Papier bedeckt, um in kleinen Entfernungen vom Fenster nicht durch die Kathodenstrahlen, in größeren Entfernungen nicht durch die leuchtende Luftschicht am Fenster gestört zu werden; die Fluoreszenz wurde durch die Glaswand des Schirmes beobachtet. Der Schirm leuchtete in Abständen bis zu 1 m vom Fenster bei jedem Entladungsschlage auf, hell in der Nähe des Fensters und sehr schwach, aber noch merklich in 1 m Entfernung. In 5–10 cm Entfernung vom Fenster wurde zuweilen ein heller als die Schirmfläche leuchtender Ring beobachtet. Da diese Erscheinung etwas Neuartiges und Merkwürdiges darstellte, wurde versucht, sie im Lichtbild festzuhalten, indem an die Stelle des Leuchtschirmes ein in schwarzes Papier gewickelter Röntgenfilm[1]) gestellt wurde. Die Fig. 2 bringt die Beobachtungsergebnisse für verschiedene Entfernungen der Filme vom Fenster der Lenardröhre.

[1]) Benutzt wurden doppelseitig begossene Agfa-Röntgenfilme (Sicherheitsfilme) 9 × 12 cm.

Die Schwärzungen der Filme rühren in der Hauptsache von den Röntgenstrahlen her, die in der Innenwand des Platinröhrchens durch streifend auftreffende Kathodenstrahlen erzeugt werden. Durch die Messingplatte und das Platinrohr können die Röntgenstrahlen nicht hindurchdringen, wohl aber durch die dünne Aluminiumfolie des Fensters. Die Fensteröffnung wirkt also für sie als kreisförmige Lochblende. In der Fig. 3 ist der Strahlengang der Röntgenstrahlen außerhalb der Röhre für zwei ringförmige Erzeugungsstellen innerhalb des Platinröhrchens im Durchschnitt nach einem Entwurfe von Lenard gezeichnet. Die eine Auftreffstelle der Kathodenstrahlen liegt am Ende des Platinröhrchens im Innern der Röhre, die zweite in der Mitte des Röhrchens. Man sieht in der Fig. 3, daß die beiden durch das Fenster gelangenden Röntgenstrahlbündel sich zunächst unmittelbar hinter dem Fenster überdecken, aber dann in größerer Entfernung vom Fenster einen kegelförmigen Raum frei von Strahlen lassen. Man

überzeugt sich leicht durch Probieren, daß dieser strahlenfreie Raum erhalten bleibt, wenn die Auftreffstellen der Kathodenstrahlen irgendwoanders im Innern des Platinröhrchens liegen. Die Begrenzung des strahlenfreien Raumes ist bei derselben Röhre gegeben durch die Röntgenstrahlbündel, die unmittelbar an dem im Innern des Entladungsrohres befindlichen Ende des Platinröhrchens entstehen. Dort treffen aber

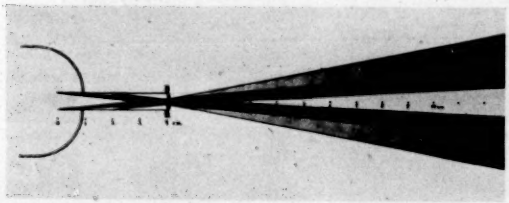


Fig. 3. Strahlengang der Röntgenstrahlen bei einer Lenardfensterröhre mit Platinansatz für zwei besondere Fälle.

auch viel mehr Elektronen auf als im Innern des Platinrohres. Infolgedessen werden von dort aus viel intensivere Röntgenstrahlbündel ausgehen, als von anderen Stellen (in der Fig. 3 durch tiefere Schwärzung des Strahlenbündels hervorgehoben). Durch sie wird der helle Ring auf dem Leuchtschirm und die ringförmige Schwärzung des Films hervorgerufen. In etwa 80 cm Entfernung vom Fenster hat sich der röntgenstrahlenfreie Raum schon so stark erweitert, daß man in der verlängerten Rohrachse überhaupt kein Aufleuchten des Fluoreszenzschirmes mehr bemerkt; es tritt aber sofort auf, wenn man den Schirm zur Seite schiebt.

Als Röntgen die Versuche Lenards über die Kathodenstrahlen in der freien Luft nachmachte, mußte er doch, um diese erkennen zu können, seinen Platinbariumzyanürschirm vor das Fenster stellen und zur Untersuchung des sich in der Luft ausbreitenden Kathodenstrahlbündels vom Fenster weg verschieben. Sollte ihm da nicht der Gegensatz zwischen dem hellen Leuchten des Schirmes unmittelbar vor dem Fenster, das durch die Kathodenstrahlen erregt wird, und dem matten Leuchten des ganzen Schirmes in größeren Entfernungen, das durch die Röntgenstrahlen bewirkt wird, aufgefallen sein? Möglich ist es, denn er gibt in seiner ersten Mitteilung (S. 9) Glas und Aluminium, d. i. die Glaswand und das Aluminiumfenster der Röhre als Quelle der neuen Strahlung an. Nicht wahrscheinlich ist es, daß Röntgen die Ringerscheinung schon zur Zeit seiner ersten Mitteilung kannte; sie hätte ihn auf das Platinrohr als Hauptquelle der neuen Strahlen hinweisen müssen.

Versuche mit verschiedenartigen fluoreszierenden Stoffen.

Anschließend an die soeben beschriebenen Versuche mit dem Platinbariumzyanürschirm wurde eine Reihe andersartiger fluoreszierender Stoffe auf ihre Brauchbarkeit als Nachweismittel für die von der Lenardröhre mit Platinansatz unter den erwähnten Entladungsbedingungen ausgehenden Röntgenstrahlen geprüft. Dabei konnte auch die Frage entschieden werden, wie die Fluoreszenzhelligkeit der einzelnen Stoffe sich beim Auftreffen der aus der Röhre tretenden Kathodenstrahlen im Vergleich zu derjenigen bei Einwirkung der Röntgenstrahlen verhielt. Zur Untersuchung standen zur Verfügung: 5 Erdalkalisulfidphosphore (2 *CaSBi*-, 2 *CaSCu*-, 1 *SrSCu*-phosphore), ein Zinksulfidkupferphosphor, ein Zinksilikatmanganphosphor, ein Zinksulfidkadmiumsulfidphosphor, dann Kalziumwolframat, ein Stück Uranglas, Pentadezylparatolylketon und Platinbariumzyanür. Die einzelnen fluoreszenzfähigen Stoffe waren teils auf Karton, teils auf Glasplatten in dünner Schicht befestigt. Außer diesem waren noch zwei alte, von Lenard in seinen berühmten Kathodenstrahlversuchen benutzte Pentadezylparatolylketonschirme vorhanden. Die Versuche mit diesen Stoffen verliefen in der Weise, daß einmal der Fluoreszenzschirm dicht vor das Lenardfenster gestellt wurde, um sein Leuchten unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen zu beobachten, und danach in Richtung der Rohrachse verschoben oder dicht an die Seitenwand der Röhre gebracht wurde, um das Leuten unter der Wirkung der Röntgenstrahlen zu betrachten. Die Beobachtungen erfolgten im verdunkelten Zimmer mit ausgeruhtem Auge.

Es hat sich dabei folgendes ergeben: Alle benutzten Stoffe leuchteten vor dem Fenster der Lenardröhre unter dem Einfluß der Kathodenstrahlung hell in ihren charakteristischen Farben auf; sie sind daher zum Nachweis der durch das Lenardfenster ins Freie tretenden Kathodenstrahlen gut zu gebrauchen. Unter der Wirkung der Röntgenstrahlen jedoch zeigten die Leuchtstoffe recht verschiedenes Verhalten. Am besten leuchtete Platinbariumzyanür. Sehr gut leuchteten auch die Zinksulfidphosphore und der Zinksilikatphosphor auf; letzterer fluoreszierte noch erkennbar in 80 cm Abstand von der Lenardröhre. Gut fluoreszierte Kalziumwolframat. Gar nicht unter der Wirkung der Röntgenstrahlen leuchteten die

Erdalkaliphosphore, das Uranglas und die beiden Lenardschen Ketonschirme. Ein von mir hergestellter Ketonschirm leuchtete, wie mir schien, sehr schwach; mit Sicherheit konnte ich das Leuchten auch bei völlig ausgeruhtem Auge nicht feststellen.

Zusammenfassend ist zu sagen: Gut zu gebrauchen zum Nachweis der von der Lenardröhre ausgehenden Röntgenstrahlen sind die Zinksulfidphosphore, der Zinksilikatphosphor, das Kalziumwolframat und das Platinbariumzyanür. Wenn also Röntgen seinerzeit bei Wiederholung der Lenardschen Kathodenstrahlversuche Platinbariumzyanürschirme gebrauchte, so hatte er sich die besten Bedingungen dafür geschaffen, die neuen Strahlen zu finden.

Alle beschriebenen Versuche zeigen, daß es leicht ist, mit der Lenardröhre der Fig. 1 Röntgenstrahlen zu beobachten. Unwillkürlich erhebt sich dann die Frage, weshalb Lenard nicht schon vor Röntgen die neuen Strahlen beobachtet habe. Darauf ist folgendes zu antworten:

Zunächst hatte Lenard, wie ich aus den Briefen des Glasbläsers Müller-Unkel an ihn in den Jahren 1893 und 1894 ersehe, die Lenard mir in dankenswerter Weise für die vorliegende Veröffentlichung durchzulesen gestattete, vom Glasbläser ein mangelhaftes Rohr mit Platinansatz erhalten, das stets schnell versagte und Nachpumpen erforderte. Er hat das Rohr nur zu wenigen Versuchen verwendet. Dabei hat er aber, wie er mir mitteilte, als auffällig bemerkt, daß die Luft in dem an die Stirnseite der Röhre angeschlossenen Beobachtungsraum in viel größeren Abständen vom Fenster als sonst bei anderen Röhren elektrisch leitend wurde, und zwar war die Leitfähigkeit nicht verblasbar, was auf Wirkung von Röntgenstrahlen schließen läßt[1]). Zu seinen bekannten Kathodenstrahluntersuchungen aber benutzte Lenard ein Kathodenrohr, das sich in einem für die Erzeugung von Röntgenstrahlen sehr wesentlichen Teile von dem Rohre der Fig. 1 unterscheidet. Das Aluminiumfenster sitzt nicht auf einem eingeschmolzenen Platinröhrchen, welches mit seiner großen Fläche eine ausgiebige Quelle der Röntgenstrahlen darstellt, sondern auf einer starken Messingkapsel, welche die Stirnöffnung des Rohres luftdicht verschließt. Röntgenstrahlen konnten bei dieser Röhre nur in geringer Intensität in den Beobachtungsraum gelangen[2]) und wurden außerdem von dem Zinkblechgehäuse stark absorbiert, so daß sie Lenard in der Umgebung der Röhre niemals hätte beobachten können. Lediglich die Röntgenstrahlen, welche durch das Fenster gehen und auf der gelegentlich von seitlichen Kathodenstrahlen getroffenen Innenwand der Röhre ihren Ursprung haben, hätte er bemerken können. Und tatsächlich hatte er ringförmiges Aufleuchten seines Fluoreszenzschirms und ebensolche Schwärzungen der photographischen Platte in dem an die Stirnseite der Röhre angeschlossenen Beobachtungsraum gelegentlich erhalten, wie ich aus den Aufzeichnungen in seinem damaligen Beobachtungsbuch und auf den Originalphotographien, die er mir in entgegenkommender Weise zeigte, feststellen konnte. Diese Ringbilder sind durch die Wirkung des Aluminiumfensters als Lochblende für die Röntgenstrahlen in ähnlicher Weise entstanden zu denken, wie die Bilder der Fig. 2. Leider hat Lenard diese Ergebnisse nicht sofort veröffentlicht, sondern sie zwecks späterer Untersuchung zurückgestellt. Schon damals und auch später hat er es grundsätzlich abgelehnt, gelegentliche Beobachtungen oder unfertige und noch nicht völlig durchdachte Untersuchungen in Form „Vorläufiger Mitteilungen" zu veröffentlichen.

Sodann hatte Lenard damals keinen Platinbariumzyanürschirm, der, wie oben gezeigt, am besten von allen Leuchtschirmen auf Röntgenstrahlen anspricht[1]), und die von ihm einmal benutzte Sammlung von Platinzyanüren (in kleinen Gläschen) war nur für kurze Zeit zu seiner Verfügung. Er benutzte bei seinen Kathodenstrahluntersuchungen Erdalkaliphosphore, Uranglas, und in der Hauptsache mit Pentadezylparatolylketon getränktes Papier, die, wie oben eingehend beschrieben, durch Kathodenstrahlen gut zum Leuchten erregt werden, unter der Wirkung von Röntgenstrahlen aber gar nicht oder nur sehr schwach leuchten. Die Beschaffung eines kleinen Verbrauchsvorrates von Platinbariumzyanür unterblieb, weil es zur Untersuchung der Strahlen in verdünnten Gasen unbrauchbar gewesen wäre, da es dann sein Kristallwasser verliert und unwirksam wird[2]).

Endlich war Lenard nach dem Abschluß seiner ersten Arbeit über Kathodenstrahlen im Dezember 1893 voll von Plänen für weitere, teils schon begonnene Untersuchungen, die er später auch durchführte. Auch wurde sein experimentelles Arbeiten damals durch die Herausgabe der „Prinzipien der Mechanik" des kurz zuvor verstorbenen H. Hertz und durch seine Berufung nach Breslau unterbrochen[3]).

Hiermit glaube ich gezeigt zu haben, daß Röntgen bei Wiederholung der Lenardschen

1) P. Lenard, Wied. Ann. **63**, 253fd., 1897.
2) P. Lenard, Nobelvortrag, 2. Aufl. S. 27.

1) P. Lenard, Wied. Ann. **51**, 230, 1894.
2) P. Lenard, Wied. Ann. **51**, 230, 1894.
3) P. Lenard, Nobelvortrag a. a. O. 1906, S. 17. Neuherausgabe 1920, S. 26.

Kathodenstrahlversuche mit der in schwarzen Karton gehüllten Lenardröhre mit Platinansatz die neuen Strahlen finden mußte. Es ist daher durchaus richtig, was Lenard in seinem Nobelvortrag sagt: „Die Entdeckung jener Strahlen ist sehr allgemein als besonderes Beispiel einer Zufallsentdeckung angesehen worden. Jedoch, gegeben die Röhre, die Aufmerksamkeit des Beobachters bereits abgelenkt von ihrem Innern auf die äußere Umgebung, die Anwesenheit von Phosphoreszenzschirmen daselbst bedingt durch den Zweck der Röhre, schien es mir, daß diese Entdeckung an eben diesem Punkte der Entwicklung ganz notwendigerweise erfolgen mußte[1])."

1) P. Lenard, Nobelvortrag a. a. O. 1906, S. 17, Neuherausgabe 1920, S. 28.

Heidelberg, Physikalisch-technische Abteilung des Physikalischen Institutes der Universität.

(Eingegangen 21. Februar 1935.)

Über die Messung der Absorption kurzer elektrischer Wellen in Dipolflüssigkeiten.

Von J. Malsch und E. Keutner.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit des einen von uns[1]) sind u. a. auch die Meßergebnisse von H. Haase[2]) besprochen worden. Inzwischen erschienen nun die mit der Haaseschen Methode ausgeführten Messungen von K. Krause[3]). Diese Arbeit veranlaßte uns, selbst Messungen mit dieser Methode auszuführen.

1. Der Vorteil der Methode von Haase und Krause besteht darin, daß sie noch bis zu sehr kurzen Wellen gut brauchbar ist. Bei dieser Methode wird die in einer bestimmten Zeit von einer Dipolflüssigkeit absorbierte Energie (Temperaturerhöhung) für verschiedene Wellenlängen gemessen, wobei der Gesamtstrom konstant gehalten wird. Trägt er dann die gemessene Temperaturerhöhung als Funktion der Wellenlänge auf, so findet Krause — ebenso wie Haase — scharf ausgeprägte Maxima. Diese Maxima werden im Sinne der Dipoltheorie als Absorptionsmaxima gedeutet. Daß eine solche Deutung nicht möglich ist, hat der eine von uns bereits früher im Anschluß an die Haasesche Arbeit gezeigt. Nach der Dipoltheorie sind Maxima der absorbierten Energie als Funktion der Wellenlänge überhaupt nicht zu erwarten. Auch ein direkter Vergleich der Haaseschen und Krauseschen Beobachtungen mit früheren Messungen des einen von uns[1]) ist aus diesem Grunde nicht möglich.

2. Wir haben nun, zunächst nur ziemlich roh, die folgenden Messungen mit der — allerdings etwas im Aufbau abweichenden — Haaseschen Methode ausgeführt, und zwar mit den auch von Haase und Krause benutzten Alkoholen. Über die Versuchsanordnung mögen die folgenden Bemerkungen genügen. Der Meßkreis besteht aus dem Meßkondensator, der schematisch als Widerstand R mit parallel geschaltetem Kondensator C aufgefaßt werden kann (Fig. 1) und

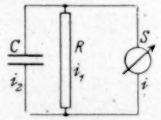


Fig. 1.

dem Strommeßinstrument S, welches auf konstanten Strom eingestellt wird. Die Wärmeentwicklung im Meßkondensator wird bei Haase mit Thermometer, bei Krause und bei uns durch Wärmeausdehnung der Flüssigkeit gemessen. Wir benutzten dabei ein Quarzgefäß[2]) mit Platinelektroden und angeschmolzener Kapillare, das ähnlich den früher beschriebenen gebaut war[3]). Der Gesamtstrom wird bei Haase mit Hitzdrahtamperemeter, bei Krause mit Thermoelement und bei uns mit einem Hitzdrahtluftthermometer gemessen, welches dem von A. Scheibe[4]) beschriebenen ähnelte. Über Einzelheiten unserer Apparatur wird von einem von uns an anderer Stelle später berichtet werden.

Wir haben Messungen ausgeführt an Hexyl-, Amyl-, Butyl-, Propyl- und Äthylalkohol. Dabei haben wir zunächst auf sehr große Reinheit der Substanzen keinen Wert gelegt, sondern ebenso wie Haase und Krause die im Handel erhältlichen Substanzen benutzt. Unsere Messungen ergaben, daß die absorbierte Energie innerhalb der Fehlergrenze der Meßgenauigkeit von der Wellenlänge unabhängig ist. Die Beobachtungen sind in Fig. 2 zusammengestellt, in welcher die Steighöhen in der Kapillaren (Erwärmungen) als Funktion der Wellenlänge für die verschiedenen Alkohole aufgetragen sind. Die Genauigkeit dieser vorläufigen Messungen ist allerdings sehr gering,

1) J. Malsch, Ann. d. Phys. **19**, S. 707, 1934.
2) H. Haase, Physik. Zeitschr **35**, S. 68, 1934.
3) K. Krause, Physik. Zeitschr. **35**, S. 684, 1934.

1) J. Malsch, Ann. d. Phys. **12**, S. 865, 1932.
2) Versuche mit Glasgefäßen gaben etwas abweichende Resultate, über die später berichtet werden soll.
3) J. Malsch, Ann. d. Phys. **12**, S. 867, 1932.
4) A. Scheibe, Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik **25**, S. 12, 1925.

sie kann aus Fig. 2, 3 und 4 ersehen werden. Unser Resultat ist als Bestätigung der Dipoltheorie aufzufassen[1]), widerspricht

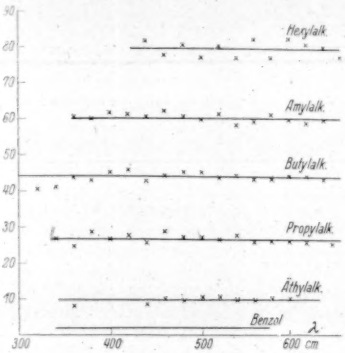


Fig. 2.

aber den Messungen von Haase und Krause. Die Unterschiede der Beobachtungen sind beispielsweise deutlich aus den Fig. 3 und 4 zu erkennen. In Fig. 3 sind die Resultate am Amylalkohol eingetragen. Kurve *k* stellt die Messungen von Krause, Kurve *h* die von Haase dar, die eingezeichneten Punkte entsprechen unseren

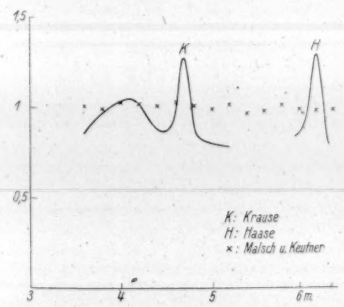


Fig. 3.

Beobachtungen. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind die Beobachtungen auf ungefähr dieselbe Höhe umgezeichnet. In Fig. 4 sind in derselben Weise die von uns erhaltenen Werte am Butylalkohol denen von Krause im Bereich von 3 m bis 3,60 m gegenübergestellt. Trotz der relativ ungenauen Beobachtungen hätte uns ein Anstieg der absorbierten Energie auf das Doppelte nicht entgehen können. Die Verschiedenheit der Resultate bedarf der Aufklärung. Die von Haase und Krause angegebenen Maxima stimmen nicht immer überein. So fand Krause für Amylalkohol ein Maximum bei 4,70 m, Haase ein solches bei 6,20 m Wellenlänge. Es wäre sehr erwünscht, zu wissen, ob die Maxima von Haase und Krause wirklich den Alkoholen zuzuschreiben sind, dann wären vor allem Messungen bei verschiedenen Temperaturen wichtig, oder ob sie z. B. vom Reinheitsgrad, Elektrodenmaterial und dergl., oder von der Wahl der Meßinstrumente und der Versuchsanordnung abhängen.

3. Aus unseren Messungen, die die Unabhängigkeit der absorbierten Energie von der Wellenlänge zeigen, können wir schließen, daß die Formeln Debyes auf die untersuchten Alkohole anwendbar sind. Die Methode von Haase und Krause eignet sich sehr gut zur Prüfung der Theorie. Darüber hinaus ist sie aber noch geeignet, die für die Dipoltheorie wichtigen Konstanten (Relaxationszeit) zu messen.

Für die entwickelte Wärmemenge findet man:

$$\overline{i_1^2} \cdot R = \frac{\overline{i^2} \cdot R}{1 + (wRC)^2}. \qquad (1)$$

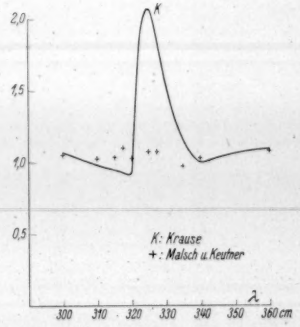


Fig. 4.

Falls wir Gültigkeit der Debyeschen Formeln annehmen, können wir diesen Ausdruck schreiben:

$$\left.\begin{aligned}\overline{i_1^2} \cdot R &= \frac{k}{\sigma} \cdot \frac{\overline{i^2}}{1 + \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}\right)^2} \\ &= \frac{60\, k(\varepsilon - n^2)\, y\, \lambda^2}{\varepsilon^2 \lambda^2 + n^4 y^2}\, \overline{i^2} = 60\, k f(\lambda)\, \overline{i^2}.\end{aligned}\right| \qquad (2)$$

1) J. Malsch, Ann. d. Phys. **19**, S. 720, 1934.

Dabei bedeuten ε' und ε'' nach Debye reellen und imaginären Teil der komplexen Dielektrizitätskonstanten. Es ist

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'',$$

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon\lambda^2 + n^2 y^2}{\lambda^2 + y^2},$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon - n^2)\, y \cdot \lambda}{\lambda^2 + y^2}.$$

Dabei bedeuten:

ε = Statische Dielektrizitätskonstante[1]),
n = Brechungsindex für sehr lange Wellen,
λ = Wellenlänge,
k = Widerstandskapazität des Meßgefäßes,
y = die für die Relaxationszeit in der Debyeschen Theorie wichtige Konstante[2]),
σ = die Leitfähigkeit[3]), die mit ε'' zusammenhängt durch:

$$\varepsilon'' = 60\,\sigma \cdot \lambda.$$

Wir haben dabei zunächst angenommen, daß die Flüssigkeiten statisch isolieren. Die charakteristische Funktion

$$f(\lambda) = \frac{(\varepsilon - n^2)\, y\lambda^2}{\varepsilon^2\lambda^2 + n^4 y^2} \tag{3a}$$

können wir auch schreiben

$$f(\lambda) = \frac{\left(1 - \frac{n^2}{\varepsilon}\right)\frac{y}{\varepsilon}}{1 + \left(\frac{n^2 y}{\varepsilon\lambda}\right)^2} = \frac{A}{1 + x^2}. \tag{3b}$$

Für kleine Werte von x ist diese Funktion von der Wellenlänge unabhängig, also dann, wenn $\left(\frac{n^2 y}{\varepsilon\lambda}\right)^2 \ll 1$ ist. Abweichungen von 1 Proz. in (3b) treten z. B. ein für $\frac{n^2 y}{\varepsilon\lambda} = 0{,}1$; mit $n^2 = 1{,}8$, $\varepsilon = 18$, $y = 150$ also für 150 cm Wellenlänge. Für alle längeren Wellen sind nach der Theorie noch kleinere Abweichungen zu erwarten. Die Zahlenwerte sind so gewählt, daß die numerischen Berechnungen möglichst einfach sind. Sie entsprechen ungefähr den Verhältnissen am n-Butylalkohol.

1) Der Bequemlichkeit halber ist die Komplexe DK hier mit ε^*, die statische mit ε bezeichnet im Gegensatz zu früheren Arbeiten, in denen ε die komplexe, ε_0 die statische DK bedeutet.

2) Näheres vgl. z. B. J. Malsch, Ann. d. Phys. **12**, S. 865, 1932.

3) Auf der Verwechslung von ε'' und σ beruht wohl der Irrtum von Haase und Krause beim Vergleich ihrer Messungen mit der Theorie. ε'' hat als Funktion von λ ein Maximum, nicht aber σ, welches für ihre Messungen maßgebend ist.

Die Steighöhen h sind den Temperaturänderungen proportional, also

$$h \sim \alpha\Theta \sim \alpha \frac{E}{\varrho \cdot v \cdot c} \sim \frac{\alpha}{\varrho \cdot v \cdot c} \frac{a^2}{k^2} K, \tag{4}$$

wenn Θ die Temperaturerhöhung, E die zugeführte Energie, c die spezifische Wärme, ϱ die Dichte, v das Volumen und α den Ausdehnungskoeffizienten bedeuten.

Haben wir nun zwei verschiedene Flüssigkeiten, so wird das Verhältnis der Steighöhen:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\alpha_1\Theta_1}{\alpha_2\Theta_2} = \frac{E_1\varrho_2 c_2\alpha_1}{E_2\varrho_1 c_1\alpha_2} = \frac{f_1(\lambda)\,\varrho_2 c_2 \cdot \alpha_1}{f_2(\lambda)\,\varrho_1 c_1 \cdot \alpha_2}, \tag{5a}$$

und bei langen Wellen:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\varepsilon_1 - n_1^2}{\varepsilon_2 - n_2^2}\,\frac{\varepsilon_2^2}{\varepsilon_1^2}\,\frac{\varrho_2 c_2}{\varrho_1 c_1}\,\frac{y_1}{y_2}\,\frac{\alpha_1}{\alpha_2}. \tag{5b}$$

Damit finden wir:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\,\frac{\varepsilon_2 - n_2^2}{\varepsilon_1 - n_1^2}\,\frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\,\frac{\varrho_1 c_1}{\varrho_2 c_2}\,\frac{h_1}{h_2}. \tag{5c}$$

Wenn wir aus anderen Messungen[1]) bekannte y-Werte heranziehen, sind wir also in der Lage, das Verhältnis der Steighöhen zur Kontrolle unserer Messungen zu benutzen, nachdem wir aus der Unabhängigkeit der Steighöhe von der Wellenlänge die Anwendbarkeit der Theorie erkannt haben. In der sich ferner ergebenden Möglichkeit, unbekannte y-Werte zu bestimmen, liegt das Beachtenswerte der Haaseschen Methode.

Die sich bei unseren Messungen ergebenden y-Werte können aus Fig. 2 abgelesen werden. Dabei muß man aber beachten, daß auch dipollose Flüssigkeiten einen geringen Effekt zeigen, der auf Hochfrequenzverluste im Gefäß zurückzuführen ist[2]). In Fig. 2 sind deshalb noch Messungen mit Benzol angegeben. Die beobachteten y-Werte für die Alkohole sind um den entsprechenden Betrag zu korrigieren. Da die Messungen als vorläufige zu betrachten sind, sind die Berechnungen auch nur roh durchgeführt, wohl aber auf 10 Prozent genau. Die zur Berechnung notwendigen numerischen Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die spezifischen Wärmen, deren in der Literatur angegebenen Werte übrigens schwanken, sind für alle Alkohole als gleich angenommen, ferner ist immer $n^2 = 2$ gesetzt. Für n-Butylalkohol ist $y = 160$ angenommen. Die Temperatur betrug etwa 18° C.

1) J. Malsch, Ann. d. Phys. **12**, 881, 1932.
2) J. Malsch, Ann. d. Phys. **12**, 865, 1932.

Alkohol	ε	ϱ	$10^6 \cdot \alpha$	$\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - n^2} \frac{\varrho}{\alpha} \cdot 10^{-3}$	h_{beob}	h_{corr}	y
Äthyl	26	0,79	110	20	10	8	34
Propyl	22	0,80	96	20	26	24	100
Butyl	19	0,81	95	18	44	42	160
Amyl	16	0,815	92	16	60	58	200
Hexyl	13,7	0,82	92	14	79	77	230

Die beiden ersten der in der Tabelle angegebenen y-Werte stimmen innerhalb der Fehlergrenze mit den früher an sehr langen Wellen bestimmten überein, sie bilden den Prüfstein unserer Messungen, die beiden letzten könnten z. B. zur Berechnung der Relaxationszeiten und Molekülradien für Amyl- und Hexylalkohol benutzt werden. Es soll aber darauf verzichtet werden, bis genauere Messungen vorliegen.

4. Wir wollen nun zum besseren Verständnis der Methode noch einige Bemerkungen über die Rolle des Verschiebungsstroms, die weder von Haase noch von Krause beachtet wird, für die Methode aber geradezu charakteristisch ist und den Einfluß der statischen (elektrolytischen) Leitfähigkeit der Alkohole anschließen.

Da für lange Wellen die Hochfrequenzleitfähigkeit mit λ^2 umgekehrt proportional, der Widerstand also proportional λ^2 ist, nimmt das Verhältnis Leitungs- zu Verschiebungsstrom mit kürzer werdender Wellenlänge zunächst zu, im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Fall eines konstanten Widerstands. In Fig. 5 ist der Stromvektor

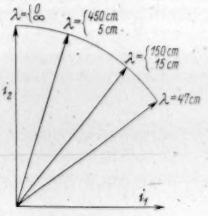


Fig. 5.

$i = i_1 + i_2$ für verschiedene Wellenlängen aufgetragen. Dabei ist angenommen, daß im statischen Fall die Flüssigkeit sich wie ein Isolator verhält. Der numerischen Berechnung liegen die bereits oben benutzten Werte $\varepsilon = 18$, $n^2 = 1{,}8$, $y = 150$ zugrunde. Für ganz kurze Wellen überwiegt natürlich der Verschiebungsstrom. Mit zunehmender Wellenlänge steigt dann das Verhältnis $\left|\frac{i_1}{i_2}\right|$ rasch an. Es nimmt bereits für sehr kurze Wellen ein Maximum an (in unserm Beispiel bei 47 cm Wellenlänge) und nun setzt das für Dipolsubstanzen charakteristische Verhalten ein: die Abnahme des Verhältnisses $\left|\frac{i_1}{i_2}\right|$ bei zunehmender Wellenlänge im Gebiet langer Wellen. Falls die Dipolsubstanz vollkommen isolieren würde, würde $\left|\frac{i_1}{i_2}\right|$ auf Null zurückgehen, wie in Fig. 5 zu sehen ist, da i_1 mit wachsender Wellenlänge schneller gegen Null geht als i_2. Praktisch aber wird infolge der Ohmschen Leitfähigkeit der Flüssigkeit bei langen Wellen doch nur ein dieser Leitfähigkeit entsprechender Leitungsstrom übrig bleiben. Das bedeutet aber, daß das Verhältnis $\left|\frac{i_1}{i_2}\right|$ ein Minimum durchlaufen wird, um dann mit wachsender Wellenlänge gegen Unendlich zu gehen. Der Verlustwinkel hat also einen recht komplizierten Verlauf. Rechnerisch läßt sich der Einfluß der Niederfrequenzleitfähigkeit folgendermaßen leicht übersehen. Es ist

$$\left|\frac{i_1}{i_2}\right| = \frac{1}{\omega C R}. \tag{6a}$$

Ist die Niederfrequenzleitfähigkeit σ_0, so wird:

$$\left|\frac{i_1}{i_2}\right| = \frac{60(\sigma_0 + \sigma)\lambda}{\varepsilon'}. \tag{6b}$$

Dieser Ausdruck läßt sich mit Benutzung der Werte für ε' und σ nach einigen Umformungen schreiben:

$$\left|\frac{i_1}{i_2}\right| = \frac{\left(1 - \frac{n^2}{\varepsilon}\right)\frac{y}{\lambda} + 60\frac{\sigma_0 y}{\varepsilon}\left(\frac{y}{\lambda} + \frac{\lambda}{y}\right)}{1 + \frac{n^2}{\varepsilon}\left(\frac{y}{\lambda}\right)^2}. \tag{6c}$$

Ist $\sigma_0 = 0$, geht (6c) über in:

$$\left|\frac{i_1}{i_2}\right|_{\sigma_0 = 0} = \frac{\left(1 - \frac{n^2}{\varepsilon}\right)\frac{y}{\lambda}}{1 + \frac{n^2}{\varepsilon}\left(\frac{y}{\lambda}\right)^2}.$$

ein Ausdruck, der für $\lambda = 0$ und $\lambda = \infty$ verschwindet und für $\lambda = y\sqrt{\frac{n^2}{\varepsilon}}$ den Maximalwert $\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{n^2}} - \sqrt{\frac{n^2}{\varepsilon}}\right)$ annimmt (vgl. hierzu Fig. 5).

Im allgemeinen Fall der Gl. (6c) erhalten wir ein Maximum und ein Minimum. Falls $60\frac{\sigma_0 y}{\varepsilon - n^2} \ll 1$ angenommen werden kann, findet man näherungsweise:

$$\lambda_{\max} = y\sqrt{\frac{n^2}{\varepsilon}}$$

$$\lambda_{\min} = \sqrt{\frac{(\varepsilon - n^2)\, y}{60\sigma_0}}.$$

Für unser Zahlenbeispiel wird $\lambda_{max} = 47$ cm,

$$\lambda_{min} = \frac{9}{\sqrt{2}\sigma_0}.$$

Mit $\sigma_0 = 5 \cdot 10^{-5}\,\Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$, also bereits größeren Verunreinigungen würde demnach $\lambda_{min} = 900$ cm.

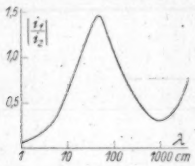


Fig. 6.

In Fig. 6 ist mit den bereits angegebenen Zahlenwerten der Verlustwinkel $\frac{i_1}{i_2}$ als Funktion der logarithmisch aufgetragenen Wellenlänge dargestellt. Im Bereich von 0,5 m bis 10 m erkennen wir den für Dipolsubstanzen charakteristischen Abfall. Der Einfluß der Niederfrequenzleitfähigkeit zeigt sich in dem für längere Wellen auftretenden starken Anstieg.

Nach dem komplizierten Verlauf des Verlustwinkels könnte man vermuten, daß die Niederfrequenzleitfähigkeit auch den Verlauf der absorbierten Energie als Funktion der Wellenlänge stark beeinflussen könne und dadurch vielleicht eine Erklärungsmöglichkeit der Kurven von Haase und Krause bestünde. Aber das ist nicht der Fall, wie eine einfache Rechnung zeigt. Unter der Annahme einer endlichen Niederfrequenzleitfähigkeit erhält man für $f(\lambda)$ den Ausdruck:

$$f(\lambda) = \frac{1}{60(\sigma_0 + \sigma)} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\varepsilon'}{60(\sigma_0 + \sigma)\lambda}\right)^2}. \tag{7a}$$

den wir leicht in die Form bringen können:

$$f(\lambda) = \frac{(\varepsilon - n^2)}{\varepsilon}\, y \cdot \frac{1 + \left[1 + \left(\frac{\lambda}{y}\right)^2\right] \frac{\varepsilon}{\varepsilon - n^2} \frac{60\sigma_0 y}{\varepsilon}}{1 + \left(\frac{n^2}{\varepsilon}\frac{y}{\lambda}\right)^2 + 2\,\frac{\varepsilon - n^2}{\varepsilon}\frac{60\sigma_0 y}{\varepsilon} + \left[1 + \left(\frac{\lambda}{y}\right)^2\right]\left(\frac{60\sigma_0 y}{\varepsilon}\right)^2}. \tag{7b}$$

Diese Funktion kann aber in dem fraglichen Wellenlängenbereich keine Extremwerte annehmen, denn im Gebiet der Meterwellen wird $\left(\frac{n^2}{\varepsilon}\frac{y}{\lambda}\right)^2$ klein gegen 1, so daß wir dieses Glied vernachlässigen können. Wohl aber kann bereits eine geringe statische Leitfähigkeit Fehler in der Berechnung der y-Werte aus den Steighöhen verursachen, wie Gl. (7b) zeigt. Für unsere ungenauen Messungen spielen sie aber keine Rolle, darum kann an dieser Stelle von einer genaueren Betrachtung Abstand genommen werden.

Zusammenfassung: Es werden Absorptionsmessungen kurzer Wellen in Alkoholen mit einer speziellen Methode beschrieben. Die Messungen stehen im Widerspruch zu den mit der gleichen Methode ausgeführten Beobachtungen von H. Haase und K. Krause. Unsere Messungen sind mit der Dipoltheorie von P. Debye zu erklären. Darüber hinaus geben sie die Möglichkeit, die für die Relaxationszeiten maßgebenden Konstanten zu ermitteln.

Der Johann-Hamspohn-Stiftung sind wir für finanzielle Unterstütung zu Danke verpflichtet.

Köln, Institut für theoretische Physik der Universität, den 1. Februar 1935.

(Eingegangen 11. Februar 1935.)

Versuche über die Änderung des Wärmedurchganges durch Gase ohne elektrisches Moment, durch Flüssigkeiten und feste Körper infolge eines elektrostatischen Feldes.

Von G. Groetzinger und R. Frey.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, daß sich der Wärmedurchgang durch einige Flüssigkeiten infolge eines elektrostatischen Feldes ändert. Bei festen Körpern und Gasen ohne permanentes elektrisches Moment konnte keinerlei Einfluß eines elektrostatischen Feldes auf den Wärmedurchgang festgestellt werden.

§ 1. Es würde versucht, die Erscheinung der Elektrophotophorese[1]) durch die Annahme einer durch das elektrische Feld im Versuchskondensator bedingten Änderung der Wärmeverteilung auf dem Probekörper, oder des Akkomodationskoeffizienten zwischen dem Probekörper und dem umgebenden Gas, zu deuten[2]).

1) F. Ehrenhaft, K. Konstantinowsky, Wien. akad. Anz. **9**, 18. März 1920; G. Placzek, Zeitschr. f. Phys. **49**, 601, 1928; F. Ehrenhaft, C. R. **190**, 263, 1930; Physik. Zeitschr. **31**, 478, 1930; F. Ehrenhaft, M. Reiß, E. Wasser, Zeitschr. f. Phys. **60**, 754, 1930.

2) F. Ehrenhaft, M. Reiß, E. Wasser, Zeitschr. f. Phys. **67**, 519, 1931.

Zur Klärung des Tatbestandes wurden später Versuche bezüglich der Änderung der Temperaturverteilung auf der Oberfläche metallischer makroskopischer Körper durch ein elektrisches Feld im Außenraum angestellt[1]), die jedoch keine Stütze für die oben angeführte Deutung der Elektrophotophorese ergaben.

Im Verlaufe dieser Untersuchungen wurde eine Änderung der Wärmeabgabe erhitzter Körper durch das sie umgebende Gas infolge eines elektrischen Feldes in demselben festgestellt[2]). Diese Versuche wurden in verschiedenen Gasen bei Drucken zwischen 10 mm *Hg* und Atmosphärendruck vorgenommen. Es ergab sich eine Zunahme der Wärmeabgabe der erhitzten Körper, insbesondere in Gasen mit permanentem elektrischen Moment (Dipolgasen) derart, daß Gase mit größerem elektrischen Moment bei gleicher Feldstärke größere Änderungen des Wärmedurchganges aufwiesen[3]).

Bezüglich einer aufgefundenen geringeren Änderung des Wärmedurchganges durch Luft, Stickstoff und Kohlensäure, Gasen ohne permanentes elektrisches Moment, ließen W. Bonwitt und G. Groetzinger jedoch die Frage offen, ob diese Erscheinung nicht durch Versuchsfehler (Verunreinigungen des Gases, sowie kleine Lageänderungen der wärmeabgebenden Körper durch ponderomotorische Kräfte des Feldes) bedingt war.

H. Senftleben[4]) hingegen stellte an Gasen ohne elektrisches Moment eine Zunahme des Wärmedurchganges durch ein elektrostatisches Feld als sicher hin und behauptet im übrigen, daß zum Zustandekommen dieser Erscheinung in allen Gasen eine Strömung des Gases, die infolge des Temperaturgefälles entstünde, notwendig sei.

Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden daher in der vorliegenden Arbeit die Versuche an einem Gas ohne permanentes elektrisches Moment, nämlich Luft, mit einer verbesserten Anordnung wiederholt.

Außerdem wurde der Einfluß eines elektrostatischen Feldes auf den Wärmedurchgang durch Flüssigkeiten und feste Körper untersucht. Als Substanzen wurden Paraffinöl, Rizinusöl und Petroleum, ferner Meta-Nitranilin, Benzoesäure, Schwefel, Paraffin und Kolophonium gewählt.

§ 2. Die Messung des Wärmedurchganges erfolgte nach der Methode von Schleiermacher[1]), bei der von einem elektrisch geheizten Draht durch die zu untersuchende Substanz zu den auf konstanter Temperatur gehaltenen Gefäßwänden ein Wärmestrom fließt. Die stationäre Temperatur, die der Draht bei einer bestimmten zugeführten elektrischen Energie erreicht und die durch Messung seines Widerstandes ermittelt wird, ist sodann ein Maß für den Wärmedurchgang.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden als Meßdrähte Kupfer-, Platin- und Wolframdrähte von 0,05–0,4 mm Durchmesser verwendet. Die Messung des Widerstandes erfolgte mit einer fünfdekadigen Doppelkurbelmeßbrücke, die je nach der Größe des Widerstandes als Wheatstone- oder Thomsonbrücke geschaltet wurde. Als Empfindlichkeit der Temperaturmessung sei diejenige Temperaturänderung bezeichnet, die der Änderung des Ausschlages des zur Brücke gehörenden Spiegelgalvanometers um einen Teilstrich der Skala (= 1 mm) entspricht.

Eine von uns angestellte einfache Rechnung ergibt, daß bei Verwendung einer Stromquelle konstanter Spannung, durch Vorschalten eines konstanten, dem Meßdraht etwa gleichen Vorwiderstandes, trotz der auftretenden Widerstandsänderungen des Meßdrahtes, für die in Betracht kommenden Fälle, eine annähernd konstante Energiezufuhr gewährleistet ist. Eine Änderung des Meßdrahtwiderstandes um 5 Proz., was der größten beobachteten Temperaturänderung entspricht, ruft in diesem Fall nur eine Änderung der Energiezufuhr um etwa 0,06 Proz. hervor.

Die für die Erzeugung des elektrischen Feldes in den Versuchssubstanzen notwendige Spannung wurde einer Hochspannungsgleichrichteranlage entnommen und konnte mittels eines Polwenders kommutiert werden. Die Spannung wurde an einem Drehspuleninstrument oder an einem statischen Instrument abgelesen.

§ 3. Die Versuche in Luft wurden in einem Zylinderkondensator durchgeführt. Der senkrecht stehende Kondensator bestand aus einem von einem Kühlgefäß umgebenen Messingrohre von 30 mm Innendurchmesser und einer Länge von 130 mm, in dessen Achse der als zweite Elektrode dienende Meßdraht gespannt erhalten wurde. Durch einen Schutzring wurden gegebenenfalls auftretende Kriechströme daran gehindert, den Meßdraht zu durchfließen.

Zur Messung fand Wolframdraht von 0,06 mm Durchmesser Verwendung, der bei einem Meßstrom von 0,46 Amp. eine Übertemperatur von 70° C erreichte.

1) W. Bonwitt, G. Groetzinger, Zeitschr. f. Phys. **72**, 600, 1931.
2) W. Bonwitt, G. Groetzinger, l. c.; H. Senftleben, Zeitschr. f. Phys. **74**, 757, 1932.
3) W. Bonwitt, G. Groetzinger, l. c.
4) H. Senftleben, l. c.

1) A. Schleiermacher, Wied. Ann. **34**, 623, 1888.

Bis zu einer Feldstärke von etwa 120000 V/cm an der Oberfläche des mit dem negativen Pol der Hochspannung verbundenen Drahtes zeigte sich kein Einfluß des elektrischen Feldes auf die Drahttemperatur. Beim Überschreiten dieser Feldstärke setzte plötzlich eine sehr starke Abkühlung, bei gleichzeitigem Stromdurchgang durch den Kondensator ein. War der Draht mit dem positiven Pol der Hochspannung verbunden, so trat diese Erscheinung erst bei etwa 140000 V/cm auf (s. nachstehende Tabelle)[1]).

Tabelle I.

Feldstärke V/cm	Meßdraht Kathode: Abkühlung des Meßdrahtes in ° C	Meßdraht Kathode: Ionenstrom Amp. 10^7	Meßdraht Anode: Abkühlung des Meßdrahtes in ° C	Meßdraht Anode: Ionenstrom Amp. 10^7
95000	0,000	0,0	0,000	0,0
110000	0,3	0,8	0,0	0,0
125000	6,9	4,1	0,0	0,0
131000	12,4	7,2	0,0	0,0
138000	15,7	12,4	0,1	0,2
150000	21,4	24,8	0,3	0,8
162000	26,4	40,7	7,9	5,9

Die nur bei hohen Feldstärken auftretende Abkühlung des Meßdrahtes scheint demnach durch den Ionenstrom bedingt zu sein.

Die Empfindlichkeit der Meßanordnung war bei diesem Versuch $1 \cdot 10^{-3}$° C pro Teilstrich der Galvanometerskala.

Auch bei Drahttemperaturen bis 350° C zeigte sich dasselbe Ergebnis. Eine höhere stationäre Drahttemperatur ließ sich bei dieser Anordnung nicht mehr erreichen.

Aus den beschriebenen Versuchen geht hervor, daß in Luft innerhalb der angeführten Empfindlichkeit unserer Anordnung, im Gegensatz zu den Ergebnissen der Untersuchungen H. Senftlebens, keine Änderung des Wärmedurchganges infolge eines elektrostatischen Feldes aufgefunden werden konnte, wie dies bei den Dipolgasen der Fall ist[1]).

§ 4. Versuche bezüglich einer Änderung des Wärmedurchganges infolge eines elektrischen Feldes durch Flüssigkeiten wurden vor allem an Ölen, also Substanzen mit möglichst geringer elektrolytischer Leitfähigkeit vorgenommen.

Für die Versuche wurden dem anläßlich der Untersuchung von Luft beschriebenen ähnliche Kondensatoren verwendet. Der in der Achse des Zylinders ausgespannte Meßdraht aus Kupfer hatte bei allen Versuchen einen Durchmesser von 0,1 mm. Durch eine an der oberen Stromzuführung angebrachte Feder wurde er dauernd gespannt gehalten.

Zunächst wurde Petroleum in einem Kondensator von 23 mm Innendurchmesser untersucht. Die Länge des Zylinders betrug wieder 130 mm. Wurde der Meßdraht mit 1,5 Amp. geheizt, so erreichte er, ohne angeschaltetes Feld, eine Temperatur von 39,5° C. Die Temperatur des Zylinders wurde auf 20° C gehalten. Während der Dauer der Einwirkung des elektrischen Feldes zeigte sich eine starke Zunahme des Wärmedurchganges, die fast unabhängig von der Feldrichtung war[2]). Nachstehende Fig. 1 zeigt die Temperaturänderungen des Meßdrahtes mit

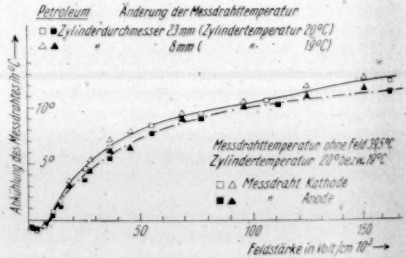


Fig. 1. Temperaturänderung des in Petroleum befindlichen Meßdrahtes in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke am Draht.

der Feldstärke bei konstanter zugeführter Energie. Es ist verständlich, daß die Temperaturänderungen des Meßdrahtes bei steigender Feldstärke einer Sättigung zustreben, da das Temperaturgefälle zwischen Draht und Zylinder immer

1) Hierbei wurde der über die Isolation fließende Strom vom Gesamtstrom in Abzug gebracht. Um den Isolationsstrom zu messen, wurden drei Meßreihen vorgenommen, wobei die erste ohne eingespannten Meßdraht, die zweite mit einem Meßdraht von 0,7 mm Durchmesser und die dritte mit einem Meßdraht von 0,06 mm Durchmesser aufgenommen wurde. Da bei gleicher Spannung am Kondensator die maximale im Gas auftretende Feldstärke im Falle des dünnen Drahtes am größten, im Falle des dicken Drahtes kleiner und ohne Meßdraht am kleinsten ist, so wären Unterschiede der gemessenen Ströme auf einen Ionenstrom im Gas zurückzuführen. — Aus den Versuchsergebnissen, die nicht näher angeführt sind, ergibt sich, daß im Falle des dünnen Meßdrahtes bis etwa 2000 V und in den beiden anderen Fällen bis etwa 4000 V noch kein relevanter Ionenstrom floß.

1) Es sei hier noch bemerkt, daß selbst kleine Verunreinigungen der Luft durch ein Dipolgas (z. B. durch die Dämpfe eines verwendeten Isolierlackes) genügen, um bereits vor Einsetzen des Ionenwindes eine Änderung des Wärmedurchganges infolge eines elektrischen Feldes, unabhängig von dessen Richtung hervorzurufen.

2) Untersuchungen mit Wechselfeldern von 50 bis 1000 Hertz ergaben ähnliche Ergebnisse wie mit Gleichfeldern angestellte.

geringer wird. Bemerkenswert ist, daß bei kleinen Feldstärken eine Erwärmung des Meßdrahtes auftritt.

Im folgenden wurden Versuche ausgeführt, bei denen die Temperaturdifferenz zwischen Draht und Zylinder während der Einwirkung des elektrischen Feldes konstant, und zwar der Draht auf 40° und der Zylinder auf 20° C erhalten wurde. Zu diesem Zweck wurde, wenn Spannung am Zylinder lag, die dem Draht zugeführte Energie so lange gesteigert, bis die Temperatur des Meßdrahtes denselben Wert erreichte, wie vor dem Anlegen des Feldes.

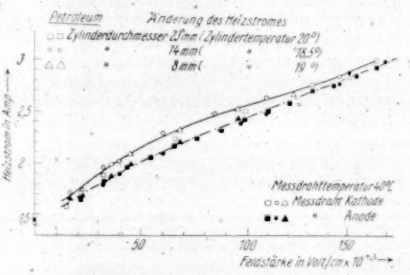


Fig. 2. Heizstromstärke, die eine bestimmte Temperatur des in Petroleum befindlichen Drahtes bewirkt, in Abhängigkeit von der Feldstärke am Draht.

Fig. 2 zeigt den Heizstrom, der zur Erreichung der gleichen Drahttemperatur bei verschiedenen Feldstärken notwendig ist. Da bei konstanter Meßdrahttemperatur die dem Draht zugeführte Energie gleich der durch die Flüssigkeit abgeleiteten Wärmemenge ist, sind die Quadrate der Heizstromstärken vor und nach dem Einschalten des elektrischen Feldes proportional der jeweiligen Wärmedurchgangszahl der Flüssigkeit. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, steigt bei Petroleum der Heizstrom fast linear mit der Feldstärke, oder mit anderen Worten, der Wärmedurchgang durch die Flüssigkeit nimmt im untersuchten Bereich annähernd im quadratischen Verhältnis mit der Feldstärke zu. Dies gilt in gleicher Weise, wenn der Meßdraht Kathode oder Anode ist.

Im selben Kondensator wurden noch Rizinus- und Paraffinöl untersucht. Beide Öle zeigten prinzipiell dasselbe Verhalten wie Petroleum. Rizinusöl ergab bei einer Drahttemperatur von 39,5° C und einer Zylindertemperatur von 20° C z. B. bei einer Feldstärke von 100000 V/cm eine Abkühlung um 11,7° C, Paraffinöl bei einer Meßdrahttemperatur von 44° C und einer Zylindertemperatur von 21,5° C bei derselben Feldstärke am Meßdraht eine Abkühlung um 6,1° C.

Da ferner von Interesse war, ob sich die Erscheinung mit der mittleren Temperatur des Mediums ändert, wurden bei gleichem Heizstrom die Temperaturänderungen beobachtet, die durch dieselbe Feldstärke bei verschiedenen Kondensatortemperaturen am Meßdraht hervorgerufen wurden[1]). Dabei zeigte sich eine sehr starke Temperaturabhängigkeit der Erscheinung (s. nachstehende Tabelle).

Tabelle II.

Paraffinöl.

Feldstärke 53500 V/cm, Meßdraht Kathode.

Kondensatortemperatur in ° C	Meßdrahttemperatur in ° C	Temperaturdifferenz in °C	Abkühlung des Meßdrahtes in ° C
27	53	26	3
32	57	25	4
39	61	22	5
47,5	66	18,5	7
51	67	16	8

Die Abnahme der Temperaturdifferenz zwischen Meßdraht und Zylinder mit steigender mittlerer Temperatur des Mediums bei gleicher zugeführter Energie hat ihren Grund in der Vergrößerung der Konvektion infolge starker Abnahme der Viskosität des Öles mit der Temperatur. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß trotz der Verkleinerung des Temperaturgefälles die Änderung des Wärmedurchganges infolge eines elektrostatischen Feldes mit steigender Temperatur zunimmt.

§ 5. Die starke Zunahme der Änderung des Wärmedurchganges mit steigender mittlerer Temperatur des Mediums (Tabelle II) läßt einen Zusammenhang mit der Zähigkeit der Substanz vermuten.

Es war daher von Interesse, das Verhalten einer Substanz bei der Erstarrungstemperatur zu untersuchen. Derartige Versuche wurden an Paraffin vorgenommen. Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, daß in den Kondensator geschmolzenes Paraffin eingegossen und erstarren gelassen wurde. Der Meßdraht wurde sodann mit 1,5 Amp. geheizt, wobei bei einer Zylindertemperatur von 19° C zwischen Meßdraht und Zylinder eine Temperaturdifferenz von 20° C herrschte. Das Einschalten des elektrischen Feldes (68500 V/cm an der Drahtoberfläche) zeigte keinerlei Temperaturänderungen des Meßdrahtes bei einer Empfindlichkeit der Meßanordnung von $1{,}4 \cdot 10^{-3}$° C pro Teilstrich der Galvanometerskala. Wurde das den Kondensator umgebende Wasser auf 60° geheizt, so daß

1) Dies erfolgte durch Erwärmung des Zylinders, der die eine Elektrode bildete.

das Paraffin flüssig wurde, konnte bei der gleichen Feldstärke ein Einfluß des elektrischen Feldes auf den Wärmedurchgang beobachtet werden. Die Erscheinung war wieder von der Polung des Feldes unabhängig. Mit fallender Außentemperatur wurde die Vergrößerung des Wärmedurchganges immer kleiner, und schließlich, als das ganze Paraffin erstarrt war, war wieder kein Einfluß des elektrischen Feldes auf die Meßdrahttemperatur zu beobachten (s. Fig. 3).

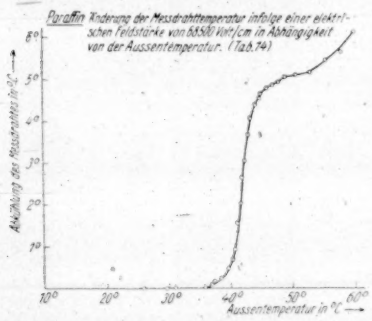


Fig. 3. Änderung der Temperatur des in Paraffin befindlichen Meßdrahtes durch ein elektrisches Feld in Abhängigkeit von der Zylindertemperatur.

Aus diesem Versuch ist ebenfalls ersichtlich, daß zu dem Zustandekommen des Effektes eine gewisse Beweglichkeit des Mediums notwendig ist.

§ 6. Es wurden im folgenden Versuche mit Zylindern verschiedener Durchmesser, unter sonst gleichen Umständen vorgenommen. Auch H. Senftleben hatte derartige Versuche in Gasen durchgeführt, um zu entscheiden, ob die Erscheinung durch eine Änderung der Wärmeleitung bedingt sei, doch dürfte nach Ansicht der Verfasser seine Schlußweise nicht ganz richtig sein.

Zu diesem Zweck wurden die oben beschriebenen, in einem Kondensator von 23 mm Innendurchmesser angestellten Versuche in Kondensatoren von 14 und 8 mm Durchmesser wiederholt und deren Ergebnisse mit den Ergebnissen der früher beschriebenen Versuche verglichen. Derartige Versuche wurden an Petroleum und Rizinusöl durchgeführt (s. Fig. 1 und 2).

Aus den Versuchen ergibt sich, daß die Änderung der Meßdrahttemperatur bei gleichen Feldstärken am Draht, bei gleicher zugeführter Energie und bei gleicher Drahttemperatur, in den oben angegebenen Grenzen, unabhängig vom Durchmesser des Zylinderkondensators ist.

Weiter ergibt sich, daß die zur Erreichung der ursprünglichen Drahttemperatur notwendige Vergrößerung der elektrischen Energie unabhängig vom Durchmesser des Zylinders ist, wenn die Drahttemperatur und die dem Draht ohne Feld zugeführte Energie in allen Fällen gleich ist[1]).

Die Beobachtungen mit verschiedenen Zylinderdurchmessern lassen leider keine eindeutige Erklärung bezüglich des Mechanismus des Effektes zu, da hierzu Voraussetzungen gemacht werden müßten, die zwar wahrscheinlich, aber noch durch keine Versuche bestätigt sind.

§ 7. Bei Flüssigkeiten, die elektrolytische Leitfähigkeit aufwiesen, traten schon bei kleinen Feldstärken starke Abkühlungen des Meßdrahtes auf, die ebenso wie der durch den Kondensator fließende Strom von der Feldrichtung abhängig waren. Es muß daher bei elektrolytisch leitenden Flüssigkeiten noch eine andere Ursache für die Abkühlung des Drahtes vorhanden sein.

§ 8. Zuletzt wurden noch Versuche bezüglich der Änderung der Wärmeleitung infolge eines elektrostatischen Feldes auch an festen Körpern vorgenommen, und zwar an Benzoesäure, Meta-Nitranilin, Schwefel, Paraffin[2]) und Kolophonium.

Da es sich bloß um qualitative Untersuchungen handelte, war der verwendete Kondensator einfach gebaut. Er bestand aus einem unten durch einen eingelöteten Boden abgeschlossenen Zylinder von 25 mm Durchmesser und 50 mm Höhe aus reinem Kupfer, in dessen Achse sich der zu einer Schleife gebogene Meßdraht (Platin 0,05 mm Durchmesser) befand. An die Enden des Meßdrahtes waren dicke, aus dem Gefäß oben herausragende Kupferdrähte gelötet, die zur Stromzuführung dienten. Das untere Ende der Meßschleife hatte vom Boden des Gefäßes einen Abstand von 10 mm. Der Kondensator wurde zwecks Konstanthaltens der Temperatur in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gestellt. Die zu untersuchende Substanz wurde in geschmolzenem Zustand in das Gefäß eingegossen, wobei der Meßdraht vor dem Eingießen in der oben angegebenen Lage festgehalten wurde. Um die Bildung von Rissen und Hohlräumen beim Erkalten des Gusses möglichst zu vermeiden, wurde die Masse an der Oberfläche lange flüssig gehalten.

Bei Benzoesäure, Paraffin, Schwefel und Kolophonium, diese Substanzen sind alle Nichtleiter der Elektrizität, konnte kein meßbarer

1) In allen Fällen mußte natürlich die Temperatur des Zylinders verschieden eingestellt werden.

2) In § 5 ist übrigens bereits die Unabhängigkeit des Wärmeleitvermögens vom elektrischen Feld bei festem Paraffin angeführt worden.

Einfluß des elektrischen Feldes auf die Wärmeleitung festgestellt werden. Die mittlere Temperatur des Meßdrahtes wurde, bei einer Zylindertemperatur von 20° C, bei Benzoesäure bis auf 70°, bei Paraffin bis auf 40°, bei Schwefel bis auf 90° und bei Kolophonium bis auf 80° gesteigert. Dabei war die Empfindlichkeit der Meßanordnung bei Benzoesäure $8 \cdot 10^{-4}$° C, bei Paraffin $1{,}4 \cdot 10^{-3}$° C, bei Schwefel und Kolophonium $7 \cdot 10^{-4}$° C pro Teilstrich der Galvanometerskala. Untersucht wurde mit Spannungen bis zu 7000 V.

Hingegen zeigten erstarrte Kristallschmelzen, die eine elektrische Leitfähigkeit aufwiesen, z. B. Meta-Nitranilin (Schmelzpunkt bei 114°) bei kleinen Feldstärken und kleinen Strömen eine Abnahme der Drahttemperatur. Bei größeren Feldstärken und größeren Strömen trat je nach deren Richtung ein weiteres Ansteigen der Abkühlung oder eine Erwärmung des Meßdrahtes ein. Bei einer Spannung von 500 V z. B. war bei beiden Feldrichtungen eine Abkühlung festzustellen, während bei einer Spannung von 1300 V, je nach dem der Draht Anode oder Kathode war, Erwärmung bzw. Abkühlung eintrat (vgl. Fig. 4).

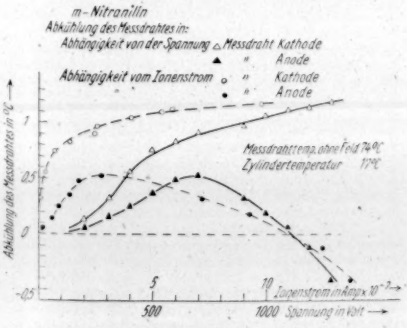


Fig. 4. Änderung der Temperatur des in Meta-Nitranilin befindlichen Meßdrahtes in Abhängigkeit von der Spannung am Kondensator bzw. vom durchfließenden Strom.

Erwähnt sei noch, daß durch das Anschalten der Hochspannung an das eine oder andere Ende des Meßdrahtes kein beobachtbarer Unterschied in der Temperatur des Drahtes bei fließendem Ionenstrom festzustellen war. Dies ist wegen der Geringfügigkeit des Ionenstromes gegenüber dem Heizstrom selbstverständlich, obwohl prinzipiell der Ionenstrom je nach dem Anschluß der Hochspannung eine kleine Vergrößerung oder Verkleinerung des Heizstromes hervorrufen muß.

§ 9. Vorliegende Versuche hatten den Zweck, festzustellen, ob ein elektrostatisches Feld in Luft, einem Gas ohne permanentes elektrisches Moment, tatsächlich eine Änderung des Wärmedurchganges hervorrufe; weiter, ob ein derartiges Feld den Wärmedurchgang durch Flüssigkeiten und feste Körper beeinflusse.

Es ergab sich, daß bei Luft kein derartiger Einfluß zu beobachten war. Kleine Beimengungen eines Dipolgases genügten jedoch, einen merklichen Einfluß des elektrischen Feldes auf die Wärmeableitung hervorzurufen.

Bei Flüssigkeiten ohne elektrolytische Leitfähigkeit (Öle) zeigte sich hingegen eine starke Vergrößerung des Wärmedurchganges infolge eines elektrostatischen Feldes, wobei dessen Richtung keinen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Erscheinung hatte. So wurde bei Petroleum und Rizinusöl eine Vergrößerung des Wärmedurchganges auf den 4fachen, bei Paraffinöl bis auf den 2,2fachen Betrag bei einer Feldstärke von 165000 V/cm an der Drahtoberfläche beobachtet.

In festen Körpern ohne elektrische Leitfähigkeit konnte kein Einfluß des Feldes auf die Wärmeleitfähigkeit des Körpers festgestellt werden.

Bei Flüssigkeiten und festen Körpern mit elektrolytischer Leitfähigkeit zeigte sich bei geringen Spannungen bzw. Feldstärken ebenfalls eine Abnahme der Drahttemperatur, die jedoch von der Feldrichtung stark abhängig war, so daß in diesem Falle noch weitere Erscheinungen mitwirken dürften.

Wien, III. Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 5. Dezember 1934.)

Bemerkung zu der Arbeit von G. Groetzinger und R. Frey: Versuche über die Änderung des Wärmedurchgangs durch Gase ohne elektrisches Moment, durch Flüssigkeiten und feste Körper infolge eines elektrostatischen Feldes.

Von Hermann Senftleben.

In § 3 der vorstehenden Arbeit ist der Satz enthalten: „Aus den beschriebenen Versuchen geht hervor, daß in Luft innerhalb der angeführten Empfindlichkeit unserer Anordnung, im Gegensatz zu den Ergebnissen der Untersuchungen H. Senftlebens, keine Änderung des Wärmedurchgangs infolge eines elektrostatischen Feldes aufgefunden werden konnte, wie dies bei Dipolgasen der Fall ist." In § 9 wird noch einmal auf dieses Ergebnis hingewiesen.

Hierzu möchte ich bemerken, daß meiner Ansicht nach die Ergebnisse der Herren Groetzinger und Frey bei der von ihnen benutzten Versuchsanordnung nicht im Gegensatz zu meinen Untersuchungen stehen. Wie ich in mehreren Veröffentlichungen, z. B. Zeitschr. f. Phys. **74**, 757, 1932, betont habe, ist die notwendige Vorbedingung für das Auftreten des von mir beobachteten Effektes das Vorhandensein von Konvektionsströmungen im Gase. Im allgemeinen stellt man bei Wärmeleitungsuntersuchungen nach der Schleiermacherschen Methode das Gefäß vertikal, gerade um die Wirkung von Gasströmungen zu vermindern. Bei meinen Versuchen wurde das Gefäß aber stets horizontal gestellt (vgl. a. a. O. S. 761), weil gerade dann die Strömung zur vollen Wirkung kommt. Die Herren Groetzinger und Frey haben mit vertikal stehendem Gefäß gearbeitet. Dadurch wurde die Einwirkung der Strömung weitgehend herabgesetzt und damit auch die Möglichkeit, den Einfluß des elektrischen Feldes nachzuweisen. Bei dipolfreien Gasen sinkt bei dieser Versuchsanordnung der Effekt unter Umständen, wie auch unsere Versuche ergeben, unter die Grenzen der Beobachtbarkeit.

Die Ergebnisse der oben stehenden Arbeit sind also mit den meinigen durchaus in Übereinstimmung und bilden eine Stütze der Anschauung, daß die von mir beobachtete Änderung des Wärmestroms in Gasen durch elektrische Felder wesentlich an die Wirkung der Gasströmung gebunden ist[1]).

1) Über die Wirkung der Strömung bei horizontal liegendem Gefäß vgl. Physik. Zeitschr. **35**, 661, 1934.

Breslau, Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 4. März 1935.)

BESPRECHUNGEN.

G. Bruhat, Cours de Mécanique Physique. Gr.-8°. Mit 605 Fig. VIII u. 708 S. Paris 1934. Masson et Cie. Brosch. Frs. 100.—.

Das Buch verbindet sehr glücklich die Darstellung der physikalischen Erscheinung mit der ihrer mathematischen Behandlung; die technische Mechanik wird dabei — wie schon im Titel gesagt ist — fast völlig außer acht gelassen. In den ersten Abschnitten werden die auch für den Physiker notwendigen Grundbegriffe der rationellen Mechanik dargestellt. Der nächste Teil behandelt ausführlich die Grundlagen der Messung überhaupt, die Metrologie. Dann folgt eine Behandlung der Pendelbewegungen und Schwingungen. Der fünfte Teil ist der Mechanik der Flüssigkeiten gewidmet mit den Untertiteln Statik, Kapillarität, Dynamik. Der sechste Teil — Schwingungen in Flüssigkeiten — enthält die physikalischen Grundlagen der Akustik; praktische Akustik, Raumakustik usw. sind absichtlich fortgelassen. Schließlich folgt Elastizität und Schwingungen in festen Körpern.

Die Darstellung ist sehr klar; die mathematischen Voraussetzungen gehen nicht über die der Grundkenntnisse der Analysis bis einschließlich Differentialgleichungen hinaus. Zahlreiche Abbildungen tragen zum Verständnis erheblich bei. Die ganze Ausstattung des Buches ist recht gut.

A. Naumann.

Knoll-Ollendorff-Rompe, Gasentladungstabellen. Gr.-8°. X und 171 S. Mit 196 Abb. Berlin 1935. Julius Springer. Geb. RM 29.—.

Man sagt wohl nicht zuviel, wenn man behauptet, daß die Entwicklung evakuierter Entladungsrohre in den letzten beiden Dezennien entscheidenden Einfluß auf die Gesamtentwicklung der Experimentalphysik gehabt hat. Die Elektronenröhre, die Braunsche Röhre, das Thyratron, das Gasentladungsrohr, die photoelektrische Zelle, sie alle haben dazu beigetragen, die Meßgenauigkeit in der Physik um Größenordnungen zu steigern.

So kommt es, daß heutzutage ein außerordentlicher Bedarf an derartigen Vakuumröhren besteht. Bei deren Herstellung sieht sich der Physiker vor eine ungeheure Fülle von Einzelfragen gestellt, sei es, daß das geeignetste Kathodenmaterial ausgesucht werden muß, sei es, daß die günstigste Elektronen- bzw. Ionenbahn zu finden ist oder daß Fragen aus der Hochvakuumtechnik auftreten. Knoll, Ollendorff und Rompe haben es unternommen, in ihrem Werk „Gasentladungstabellen" die Antworten auf alle diese Fragen mit einer Ausführlichkeit zusammenzutragen, die nichts zu wünschen übrigläßt. In einem ersten Teil sind die Daten der kleinsten Teilchen der Gasentladungen: Moleküle, Atome, Elektronen, Ionen, Photonen aufgeführt, dann folgen: Statistik der Gasentladungen, besondere Entladungsformen, Werkstoffe für Elektronenröhren, Hochvakuumtechnik, Bezeichnung der Gasentladungen nach AEF, Maßsysteme und allgemeine Konstanten und schließlich mathematische Hilfsmittel, alles in einer Fülle, die eine eingehendere Besprechung an dieser Stelle unmöglich macht. Jeder, der auf dem Gebiete der Gasentladung tätig ist, wird über das Erscheinen des Buches aufrichtige Freude empfinden, da bisher an keiner anderen Stelle dieses Material derartig gesammelt worden ist, so daß man stets auf langwieriges Suchen in der Literatur angewiesen war. Aber auch für den Physiker, der nicht gerade das spezielle Gebiet: „Gasentladungen" bearbeitet, enthält das Werk so viel wichtiges Zahlenmaterial, daß seine Benutzung warm empfohlen werden kann. Die hohe Zusammendrängung des ungeheuer reichhaltigen Materials auf kleinem Raum rechtfertigt den auf den ersten Blick im Verhältnis zu dem geringen Volumen des Buches hoch erscheinenden Preis ohne weiteres.

H. Etzold.

Franz Sandgathe, Das Ende der Einsteinschen Zeittheorie. 8°. 103 S. Bonn 1934. L. Röhrscheid. RM 3.50.

Solange man immer noch sehen muß, wie tiefe und schwierige Probleme der wissenschaftlichen Methodenlehre mit leeren Schlagworten behandelt werden (wie z. B. das schwierige Problem des Verhältnisses von Geometrie und Wirklichkeit durch das Schlagwort: „Sofern die Sätze der Geometrie sich auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und sofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit", das u. a. zwei ganz verschiedene Begriffe von „Sicherheit" ohne Kritik zusammenwirft und überhaupt nichts enthält als eine schlecht formulierte willkürliche Behauptung), ist es immer begrüßenswert, wenn einmal etwas tiefer gehende Überlegungen angestellt werden. Hier liegt eine Untersuchung vor, deren Niveau sich weit über die große Menge der heute so beliebten „Weltbildliteratur" erhebt, in der von Laienseite dem dumpfen Gefühl der Nichtassimilierbarkeit der Einsteinschen Forschungsgrundsätze Ausdruck gegeben oder auch von vielen fachmäßig Gebildeten eine ebenso unkritische begeisterte Zustimmung zu diesen geboten wird.

Verfasser behandelt sehr gründlich und scharfsinnig die impliziten Regeln, die automatisch stets angewendet werden, wenn von „Zeit" gesprochen wird, und es gelingt ihm insbesondere ein Grundprinzip dabei aufzuweisen, das allein schon die sogenannte Relativierung der Zeit ausschließt, trotzdem es in der Relativitätstheorie ebenfalls angewendet wird, das aber bisher noch bei keinem der Versuche zur „Axiomatik des Zeitbegriffes" bemerkt worden war. (Siehe die Note von Referent und Max Steck in Heft 2, 1935 dieser Zeitschrift.) So ergänzt die Arbeit vom Prinzipiellen her aufs beste die scharfsinnigen Untersuchungen von G. v. Gleich, welche die eigentlichen mathematischen Ansätze der Relativitätstheorie kritisch behandeln.

Kritisch wäre zu der gelegentlichen Berührung der Frage der Geometrie — besonders im dritten Teil — etwa zu sagen, daß diese Frage nicht von der Zeit allein aus behandelt werden kann, sondern wohl nur durch eine strenge Untersuchung der manuellen Verfahren bei der manuellen Realisierung geometrischer Formen und der Meßinstrumente, wie ich das in meinen „Grundlagen der Geometrie", Stuttgart 1933, durchgeführt habe. Verfasser deutet dies auch an (S. 103).

Die scharfsinnige und gut zu lesende Schrift wird jedem Leser, der sich ernsthaft mit diesen prinzipiellen Problemen beschäftigt, eine anregende und belehrende Lektüre sein. H. Dingler.

Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1935.

Universität Basel. **Hagenbach:** Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8, für Mediziner und Ärzte (mit Wehrli), 2; Physikalisches Kolloquium (mit Zickendraht und Wehrli), 14tägig, 2 g. — **Matthies:** Physikalische Optik, 5, Übungen, 1; Kinetische Gastheorie, 2, Übungen, 1; Mathematisch-physikalisches Seminar, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 1. — **Zickendraht:** Neue Arbeiten aus dem Gebiete der Hochfrequenztechnik, 2; Magnetismus und seine Anwendungen, 2. — **Zehnder:** Die tiefsten Grundlagen der Physik und Chemie, 1; Maschinenkunde für Chemiker II, 1. — **Bürki:** Photographische Chemie, 1; Photographisch-chemisches Praktikum, 3; Anwendungen der Photographie in Wissenschaft und Technik, 1. — **Wehrli:** Moderne Anschauungen über Licht und Materie, 1. — **Rittmann:** Die geophysikalischen Grundlagen der Vulkanologie, 2. —

Universität Berlin. **Wehnelt:** Physikalisches Anfängerpraktikum, 7, Ergänzungen, 1 g; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das naturwissenschaftliche Arbeiten, 3; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalische Forschungsarbeiten (mit Schumann, Czerny, Hettner und Orthmann), tägl.; Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Czerny, Hettner und Orthmann), 1 g; Experimentell-physikalische Arbeiten (mit Schumann u. Becker), tägl. — **v. Laue:** Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Proseminar (mit Hettner), $1^1/_2$. — **Schumann:** Wehrpolitik, mit seminaristischen Übungen, 2; Theoretisch-physikalische und ballistische Arbeiten, tägl.; Experimentalakustik, mit Übungen, 1; Forschungsarbeiten: Systematische Musikwissenschaft, Tonfilm, Radiophonie, tägl.; Die Physik der Klangfarben, 1. — **Gehrcke:** Einführung in die höhere Mathematik: Elemente der Differential- und Integralrechnung, unter Berücksichtigung der Anwendungen in den Naturwissenschaften, 2. — **Schoenichen:** Aus deutschen Naturschutzgebieten, mit Besprechungen und Exkursionen, 1 g. — **Becker:** Ausgewählte Kapitel der Wehrtechnik, 1 g. — **Kolhörster:** Probleme der Geophysik II, 1; Radioaktivität der Gesteine, der Gewässer und der Luft, 1; Arbeiten über Höhenstrahlung, für Fortgeschrittene, tägl. — **Orthmann:** Höhere Experimentalphysik III, mit Versuchen: Atomphysik, 4. — **Hettner:** Theorie der Materie und der Strahlung III, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1. — **Möglich:** Statistische Mechanik und Mechanik der Kontinua, 6; Theoretisch-physikalisches Proseminar, 2. — **Grotrian:** Atomspektren, 1; Spektroskopisches Praktikum (mit Schüler), 4; Spektroskopische Forschungsarbeiten (mit Schüler), tägl. — **Philipp:** Ausgewählte Kapitel aus der Physik des Atomkerns, 1. — **Beutler:** Molekülbau und Bandenspektren, 1. — **Trendelenburg:** Elektrische Meßmethoden, mit Lichtbildern, 1. — **Henning:** Einführung in die Thermodynamik, 2. — **Kiebitz:** Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der elektrischen Wellen, 1. — **Schreiber:** Technische Grundlagen und Methoden der Elektromedizin, 1 g; Praktikum für Strahlenmessung: Licht, Röntgen, Radium (mit Friedrich), nach Vereinbarung. — **Czerny:** Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8. — **Blasius:** Praktische Übungen für Fortgeschrittene, 7. — **Schüler:** Seminar über Fragen der Kernphysik (mit Philipp), 2 g. — **Eggert:** Grundlagen und Anwendungen der Photographie: Wissenschaftliche Farben- und Röntgenphotographie, Kinematographie einschließlich Tonfilm, Reproduktionstechnik, $1^1/_2$. — **Beck:** Photographisches

Praktikum, für Anfänger und Fortgeschrittene, 2 g. — **v. Ficker:** Allgemeine Meteorologie II: Statik, Thermodynamik, 3; Meteorologisches Kolloquium (mit Defant), 2; Meteorologische Übungen, 1. — **Knoch:** Probleme der Lokal- und Mikroklimatologie, 1; Praktikum zur Verwertung meteorologischen Beobachtungsmaterials, 2. — **Kähler:** Sonnen- und Himmelstrahlung, 1; Übungen aus dem Gebiete der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Robitzsch:** Verwendung graphischer Methoden in der Meteorologie, 1. — **Kölzer:** Wetterkundliche Übungen für Heerestechnik, mit Lichtbildern, 2. — **Stumpff:** Methoden und Aufgaben der Periodenforschung, 2. — **Klose:** Differential- und Integralgleichungen der Physik, 4. —

Universität Bern. **Greinacher:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Optik, 5, Ergänzungen, 1; Physikalische Optik, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Gruner), 14tägig, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 3 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Gruner:** Mechanik, 4; Quantentheorie, 3; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Koestler:** Höhere Mathematik zur Lösung naturwissenschaftlicher Probleme, 1–2; Theorie der elektrischen Schwingungen, 1–2; Theorie der Elastizität, 1–2. —

Technische Hochschule Braunschweig. **Diesselhorst:** Experimentalphysik II: Experimentelle Dynamik und Hydrodynamik, 2, III: Wärme, Mol.-Phys., Optik, 2; Einführung in die Theorie der Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum I und II; Physikalisches Kolloquium (mit Lübcke), 14tägig, 2 g. — **Koppe:** Luftfahrtmeßtechnik, 1, Übungen, 2; Flugmeteorologie, 1, Übungen, 2. — **Bergwitz:** Radioaktivität mit Anwendungen, 2; Anwendung der Röntgenstrahlen, 1; Elektronisch-radiologisches Praktikum, 1 Nachmittag. — **Lübcke:** Akustik II: Bau- und Raumakustik und Schallstrahlung, 1; Akustische Meßmethoden II, mit Übungen, 1; Physikalisch-technische Arbeiten im Laboratorium, nach Vereinbarung. —

Universität Breslau. **Schaefer:** Höhere Experimentalphysik: Die Wellen in der gesamten Physik, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Fues, Steubing und Waetzmann), 2; Physikalisches Praktikum (mit Bergmann) für Anfänger, 3 oder 6, für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3, für Fortgeschrittene (mit Steubing und Bergmann), tägl. — **Steubing:** Einführung in die Photographie, 1; Apparate und Methoden der Spektroskopie, 1; Photographische Übungen für Anfänger, 3; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht: Mechanik, Akustik, Wärme (mit Groß), 2. — **Bergmann:** Ausgewählte Kapitel aus der Hochfrequenztechnik, 2. — **Matossi:** Einführung in die Physik der Atomkerne, 2. — **Groß:** Schulphysik I: Ausgewählte Kapitel aus Mechanik, Akustik, Wärme, 1; Großtaten deutscher Technik, mit Experimenten und Besichtigungen, 3. — **Fues:** Quantentheorie, 4, Übungen, 3. — **Ludloff:** Elektrodynamik: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, mit Übungen, 4. — **Jüttner:** Einführung in die theoretische Physik, 2. —

Technische Hochschule Breslau. **Waetzmann:** Experimentalphysik II, 4, Besprechung, 1 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3 und 2; Physikalisches Zwischenpraktikum, 6; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Schaefer), 2; Physikalisches Seminar, 2. — **Ebert:** Einführung in die Röntgenographie I: Spektroskopischer Teil, 3; Röntgenographische Praktika, für Anfänger I: Spektroskopischer Teil, 3, für Fortgeschrittene, tägl., Röntgenographische Forschungsarbeiten, tägl.; Röntgenographisches Kolloquium (mit Spangenberg), nach Vereinbarung g. — **Gross:** Schulphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 1; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht, 2; Methodik des Physikunterrichts, 1; Die Behandlung der modernen Technik im Physikunterricht der höheren Schule, mit Experimenten, 3. —

Technische Hochschule Brünn. **Lohr:** Allgemeine und technische Physik, Geometrische Optik, Wärmelehre, Akustik, $3^1/_2$; Physikalisches Praktikum, 3; Geometrische Optik, 3; Ausgewählte Kapitel der neueren theoretischen Physik, $1^1/_2$. —

Bergakademie Clausthal. **Valentiner:** Experimentalphysik II: Wärme, Wellenlehre, Strahlung, 4; Physikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Becker:** Einführung in die technische Röntgenkunde, 1. — **Rössiger:** Geophysikalische Geländeübungen, 3; Geophysikalisches Seminar, 2. —

Technische Hochschule Danzig. **Buchwald:** Quantentheorie, 4, Übungen, 14tägig, 2; Arbeiten für Fortgeschrittene, 12; Übungen zur Atomphysik, 2; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Kossel), 8; Physikalisches Kolloquium (mit Kossel), 1 g. — **Kalähne:** Einführung in die Radio- und Elektrophysik, 1; Photographie und Reproduktionsverfahren, 1; Ausgewählte Kapitel der Spektroskopie, 1; Übungen in Photographie und Reproduktionsverfahren I, 3, II, 4; Photophysikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 12; Radiophysikalisches Praktikum I und II, 4, III, für Fortgeschrittene, 12. — **Kossel:** Experimentalphysik II, 4, Ergänzungen, 1; Kleines physikalisches Praktikum (mit Wolf) I, 4, II und III, 3; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene II, 12. — **Koschmieder:** Allgemeine Meteorologie, mit Übungen in Instrumentenkunde, 2, Übungen, 2; Ergänzungen zur Wetterkunde IV: Gewitter und Böen, nach Vereinbarung. — **Wolf:** Röntgenspektren, 1; Praktisches Rechnen in Naturwissenschaft und Technik, 1. — **Haack:** Malerische Perspektive und Photogrammetrie, 3, Übungen, 1. —

Technische Hochschule Darmstadt. **Rau:** Experimentalphysik unter besonderer Berücksichtigung der technischen Anwendungen: Elektrostatik, Elektromagnetismus, Strahlungserscheinungen, Atomphysik, 5; Physikalische Übungen, 3 Nachmittage, für Fortgeschrittene, 2 Tage; Ausgewählte Kapitel aus der Physik, 1; Physikalisches Seminar, 1; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium, 1 g. — **N. N.:** Experimentalphysik: Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, Wärme, Akustik, 3; Physikalische Meßkunde und Apparatebau, 2; Kolloquium in technischer Physik, 1 g; Arbeiten aus der technischen Physik, nach Vereinbarung; Optik: Elektromagnetische Lichttheorie, Dispersion, Beugung, 3, Übungen, 1. — **Knipping:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiet der Röntgenstrahlen, 2, Übungen, 1; Röntgenseminar, 1 g; Röntgenpraktikum für Anfänger, 3–4, für Fortgeschrittene, 6–8; Selbständige Arbeiten auf dem Röntgengebiet, tägl. —

Reutlinger: Geophysik I und II: Boden- und luftelektrische Meßmethoden, mit Übungen, 2; Arbeiten in technischer Physik für Fortgeschrittene, nach Vereinbarung; Übungen in Schwingungsmeßtechnik, 3; Meßmethoden und Meßgeräte der Wärmewirtschaft, 3; Apparatebau, 1, Übungen, 1. — Herzberg: Atomphysik II, 2, Übungen, 1. — Georgii: Allgemeine Flugmeteorologie, 2; Aerologie, 2; Theoretische Meteorologie, 1; Flugmeteorologisches Kolloquium, 2; Flugmeteorologisches Praktikum, Meßflüge, wetterkundliche Übungen, 2. —

Technische Hochschule Dresden. Tomaschek: Experimentalphysik II, 5; Relativitätstheorie und Ätherfrage, 1 g; Physikalisches Praktikum I, 3 und 6, II, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar, 14tägig, 2 g. — Toepler: Theoretische Physik: Mechanik (speziell Schwingungen), 2, Übungen, 1; Ausgewählte Abschnitte aus Metalloptik und Kristalloptik, 2; Wellenmechanik und Atombau, 2; Hochspannungspraktikum, ausgewählte Aufgaben für Fortgeschrittene, 6; Größere physikalische Arbeiten, tägl.; Hochspannungs- und Röntgenpraktikum (mit Wiedmann), 6; Kolloquium über Strahlenforschung (mit Wiedmann und Saupe), 1 g. — Luther: Kolloquium über neuere Forschungen auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, 2 g; Photographie, 2 g; Photographisches Praktikum für Anfänger, 4 und 8, für Fortgeschrittene, 4 und 8; Selbständige Arbeiten, 2, 4, 8, 12, halb- und ganztägig. — Wiedmann: Korpuskularstrahlen, 1; Röntgentechnische und spektroskopische Übungen, 3 und 6; Selbständige Arbeiten, tägl. — Wiarda: Theorie der unendlichen Reihen, 3; Repetitorium der Festigkeitslehre, 2; Repetitorium der Technischen Mechanik, 2; Klassische Quantentheorie, 2. — Teichmann: Numerische und graphische Verfahren in der Physik, 2, Übungen (mit Fleischer), 1 g. — Alt: Ausgewählte geophysikalische Probleme, 1. — Fleischer: Die Photozelle, 2; Die physikalischen Grundlagen der Wehrtechnik, 1. — Günther: Geschichte des mathematischen und physikalischen Unterrichts, dabei Geschichte der Schulmathematik, 2. — Klughardt: Optische Instrumentenkunde I: Fernrohre und Mikroskope, 2, II: Die photographischen Objektive, 1, Ergänzungen, 1. — Saupe: Studium der Anatomie und Physiologie des Menschen mit Röntgenstrahlen, 1. —

Universität Erlangen. Gudden: Anschauliche Physik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4, III: Schwingungslehre, 1; Physik des Fliegens, mit Versuchen, 1; Übungen im Beobachten und Messen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene (mit Mönch), 8 g; Besprechung physikalischer Tagesfragen (mit Reiger, Rump und Mönch), 1 g; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — Reiger: Theoretische Physik: Elektrizität, 4; Elektrotechnische Übungen, 3; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — Rump: Strahlenkunde: Elektrische Wellen, Licht-, Röntgen-, Radium-, Korpuskularstrahlen, 1. — Mönch: Elektrisches Verhalten der Grenzschichten fester Körper, 1. —

Universität Frankfurt a. M. Meissner: Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4, Übungen, 1; Das Mikroskop, einschließlich Elektronenmikroskop, 1 g; Höhere Experimentalphysik: Wellenoptik, 2; Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten, für Fortgeschrittene, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Madelung), 14tägig, 2 g; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, 4, für Mediziner und Pharmazeuten, 2, für Fortgeschrittene, halbtägig; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — Madelung: Mechanik II, 4, Übungen, 1 g; Einführung in die Quantentheorie, 2; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — Linke: Allgemeine Klimatologie, 2; Bioklimatologie, 1; Meteorologische Übungen für Anfänger, 2; Leitung selbständiger Arbeiten, halbtägig. — Seddig: Physik der Nachrichtenmittel I, 2; Photographisches Praktikum, 4 oder 8 g; Leitung selbständiger Arbeiten auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, ganztägig; Kolloquium über angewandte Physik, 2 g. — Rajewsky: Aktuelle Fragen der Biophysik, 2; Kolloquium über medizinische Physik, 2; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, ganz- und halbtägig; Radiologisches Praktikum, 3; Biophysikalisches Seminar, 14tägig, 2 g. — Sachs: Werkstoffe im Luftzeugbau, 1 g. — N. N.: Angewandte Elektrizitätslehre: Der elektrische Gleichstrom, mit Übungen, 3; Kleines elektrotechnisches Praktikum, 3 und 6; Großes elektrotechnisches Praktikum, 5 halbe Tage; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten: Angewandte Physik, ganztägig. — Mügge: Angewandte Geophysik, 2; Wetterbesprechungen, 2 g; Graphische Arbeitsmethoden der Meteorologie, 2; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — N. N.: Statik und Thermodynamik der Atmosphäre, 3. —

Universität Freiburg i. Br. Mie: Experimentalphysik IIb: Elektrodynamik, Optik, 4; Vorlesungspraktikum (mit Kast), 1–2; Physikalische Übungen für Naturwissenschaftler, 6, für Fortgeschrittene (mit Kast), 6; Physikalisches und physikalisch-chemisches Kolloquium, 2 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — Kast: Experimentalphysik IIIa: Optik aller Wellenlängen, 3; Handfertigkeitsübungen, 4. — Klumb: Technische Physik: Elektrizität, 3; Physikalisches und physikalisch-chemisches Proseminar (mit Böhm), 1. — Hammer: Elektrizitätsleitung in Gasen: Entladungen und Strahlen, 1 g. — Koenigsberger: Einführung in die theoretische Physik: Elektromagnetismus, Optik, mit Übungen, 5; Elemente der Wellen- und Quantenmechanik, 1 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. —

Universität Freiburg (Schweiz). Schmid: Experimentalphysik, 5, Ergänzungen, 1, Repetitorium, 1; Geometrische Optik, 2; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 3, für Pharmazeuten, 4; Anfängerpraktikum für Naturwissenschaftler, 12; Physikalisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — Huber: Mechanik der Kontinua, 4. — Brasey: Allgemeine Elektrotechnik, 3. —

Universität Gießen. Gerthsen: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik und Wärme, 4, Ergänzungen, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Bechert und Cermak), 2 g; Physikalisches Praktikum (mit Cermak), 3; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — Bechert: Mechanik, 3, Übungen, 1; Relativitätstheorie, 2; Seminar über moderne Fragen der theoretischen Physik, 14tägig, $1^1/_2$ g; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. g. — Cermak: Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Mechanische und elektrische Schwingungen, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Physikalisches Seminar, g. — Uller: Elektrischer Gleich- und

Wechselstrom I, 1; Einführung in die Vektoranalysis, 2; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Lihotzky:** Grundlagen der Optik, 1 g. — **Georgii:** Allgemeine Meteorologie, 2. —

Universität Göttingen. **Pohl:** Vorführungen aus der Optik für Fortgeschrittene (mit Hilsch), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Reich), g. — **Cario:** Experimentelle Atomphysik II: Radioaktivität, 1; Physikalisches Seminar als Ergänzung des Praktikums, 2. — **N. N.:** Physikalisches Praktikum, 3. — **Sauter:** Theoretische Physik III: Optik, 4, Übungen, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Reich:** Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, mit Experimenten, 2; Elektrophysikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Prandtl:** Ausgewählte Abschnitte der Strömungslehre, 4; Besprechung von Fragen der angewandten Mechanik (mit Betz, Schuler und Flügge), 2 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten auf dem Gebiet der angewandten Mechanik, einschließlich Hydro- und Aerodynamik, tägl. — **Betz:** Übungen zur Tragflügeltheorie, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Schuler:** Automatische Steuerung von Maschinen, Schiffen und Flugzeugen, 2; Mechanik-Praktikum, 8; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Seminar über ausgewählte Fragen der Mechanik, 2 g. — **Flügge:** Seminar über ausgewählte Fragen der Flugzeugstatik, 2. — **Gerdien:** Ausgewählte Kapitel der elektrischen Meßkunde, nach Vereinbarung, g. — **Kyropoulos:** Physik der Kohlenwasserstoffhydrierung, 1; Ausgewählte Methoden zur Bestimmung des Molekülbaus, 1. — **Küstner:** Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenphysik, tägl. g. — **Angenheister:** Aufbau und Bewegung der Erdrinde, 1 g; Seismik: Instrumente und Methoden, 1; Meteorologie I: Statik, allgemeine Klimatologie, 1; Praktikum, a) meteorologisches, b) geodätisches, $3^1/_2$ g; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Jung:** Potential und oszillierende Funktionen mit Anwendungen auf geophysikalische, geographische und meteorologische Fragen, 2. —

Universität Graz. **Benndorf:** Experimentalphysik, Aufbau der Materie, 3; Experimentalphysikalisches Seminar: Lösung physikalischer Aufgaben, 2; Physikalische Übungen I, für Anfänger (mit Rumpf), 4, II (mit Székely), 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Besprechung physikalischer Fragen (mit Rumpf), 2. — **Rumpf:** Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, Radioaktivität, 5. — **Székely:** Wechselströme, 2. — **Wegener:** Einführung in die Geophysik, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Meteorologie, 1. — **Rosenberg:** Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 2. —

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik III: Elektrizität, 3 und 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus den Gebieten der chemischen Physik; Physikalisches Praktikum, 6. —

Universität Greifswald. **Krüger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4, Ergänzung, 1; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 2; Praktikum der angewandten Elektrizitätslehre, 3; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (Kolloquium) (mit Reinkober), $1^1/_2$ g. — **Seeliger:** Kursus der theoretischen Physik V: Kinetische Theorie der Materie, 3, Übungen, 14tägig, 2; Seminar für Fortgeschrittene: Thermodynamik in Anwendungsbeispielen, 14tägig, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Reinkober:** Physikalische Maßeinheiten und Meßmethoden II: Elektrizität und Optik, 1; Seminaristische Übungen zur Physik und Geophysik (mit Schlomka), 2; Seminar: Sterne und Atome (mit ten Bruggencate), 2; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Schlomka:** Angewandte Geophysik, 2. — **ten Bruggencate:** Astronomische Geographie, 2. —

Universität Halle. **Hoffmann:** Neue Ergebnisse der Atomforschung, 1 g; Physik II, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger und Fortgeschrittene, 6, für Mediziner, Landwirte und Pharmazeuten, 2; Physikalisches Proseminar, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Smekal), 2 g; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Pose), tägl. — **Smekal:** Molekularphysik, 4; Kohäsion der Festkörper, 1; Seminar für theoretische Physik, 2 g; Anleitung zu selbständigen theoretischen oder experimentellen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Pose:** Experimentelle Grundlagen der kinetischen Gastheorie, 1; Experimentelle Untersuchungsmethoden in der Atomphysik, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Demonstrationsübungen, 1. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Müller und Meyer), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz, Möller und Harteck), 2. — **Lenz:** Quantentheorie II, 2; Thermodynamik, mit Übungen, 4; Theoretisch-physikalisches Vortragsseminar, 2. — **Goos:** Wirkungsweise und Gebrauch des Mikroskops, 1. — **Knauer:** Photographie mit praktischen Übungen, 4. — **Meyer:** Physikalisches Proseminar (mit Knauer, Pollähn und Jensen), 2; Röntgenspektroskopie, 1. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 2. — **Möller:** Elastizitäts- und Festigkeitslehre, mit Versuchen, 2, Übungen, 1; Maschinenlehre, Wärmekraftmaschine, 1; Elektrotechnisches Praktikum, 5; Physikalisch-technisches Praktikum, 5; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, Fortgeschrittener, tägl.; Feldnachrichtengeräte mit Morsekurs und einer Übung im Gelände, 1. — **Schott:** Geophysikalisches Kolloquium (mit Raethjen, Schulz, Tams, Kuhlbrodt), 14tägig, $1^1/_2$. — **Jensen:** Ausgewählte Kapitel aus der atmosphärischen Optik, 1; Neuere Untersuchungen über die Sonnen- und Himmelsstrahlung, 1. — **Tams:** Theorie und Konstruktion der Seismographen, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2. — **Raethjen:** Thermodynamik der Atmosphäre, 2, Übungen, 14tägig, 2; Meteorologisches Praktikum, 3; Besprechung meteorologischer Arbeiten, 2; Meteorologische Forschungsarbeiten, tägl. — **Kuhlbrodt:** Praktische Übungen zum Wetterdienst und zur Klimatologie, 14tägig, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in der maritimen Meteorologie, nach Vereinbarung. —

Technische Hochschule Hannover. **N. N.:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum, 4; Arbeiten im physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend. — **Precht:** Technische und Praktische Physik, 2. — **Seilkopf:** Flugmeteorologie: Allgemeine Flugmeteorologie, Flugmeteorologie der Ozeane und Festländer, 2. — **Herweg:** Drahtlose Telegraphie und Telephonie II, 2; Photographisches Praktikum, 3; Hochfrequenzpraktikum, 4 und 3; Arbeiten im Hochfrequenzlaboratorium für Fortgeschrittene, 6, halb- und ganztägig. — **Hase:** Maschinenmeßkunde, 2; Theorie und Praxis der Strahlungsmessungen, 1; Praktikum für Wärmemeßtechnik, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Institut für Wärmemeßtechnik, 6. —

Universität Heidelberg. **Becker:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalisches Großpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Seminar, $1\frac{1}{2}$ g. — **N. N.:** Wärmethorie, 4; Kinetische Gastheorie und Statistik, 1; Theoretisch-physikalische Übungen, $1\frac{1}{2}$ g. — **Schmidt:** Radiologie: Bau der Materie, 2; Selbständige physikalisch-technische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Übungen in der Fernsprech- und Funktechnik (mit Wesch), 5 g. — **Wesch:** Funktechnik II, 1. — **Bothe:** Kolloquium über naturwissenschaftlich-medizinische Arbeiten (mit Krehl, Kuhn und Meyerhof), 14tägig, 1 g. — **Peppler:** Synoptische Meteorologie: Problem der Wettervoraussage, 2. —

Universität Innsbruck. **Lerch:** Experimentalphysik II, 5; Physikalisches Praktikum für Lehramtskandidaten (mit Tagger), 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, 10; Kapitel aus der Farbenlehre, 1 g. — **Hess:** Optik, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Vorgeschrittener, 10. — **Sexl:** Optik, 4; Elektronentheorie, 2; Seminarübungen, 1. — **Sonvico:** Wechselstromtechnik, 2 g. — **Wagner:** Wettervorhersage, 3; Erdmagnetismus, 2; Wissenschaftliche Arbeiten für Fortgeschrittene, 10. — **Ekhart:** Meteorologie und Aerologie der Gewitter, 1. —

Universität Jena. **Wien:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 5, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum (mit Hanle), für Mathematiker und Physiker, 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 4, Kleines Praktikum, $2\frac{1}{2}$, für Fortgeschrittene (mit Joos und Hanle), 10; Physikalisches Kolloquium (mit Esau und Joos), 2; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Straubel, Joos und Hanle), tägl. — **Joos:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 3; Theorie des Schalls, 2; Physikalisches Proseminar (mit Hanle), 1; Theoretisch-physikalisches Seminar (mit Wessel): Übungen zur Elektrizitätslehre, 1, Vortragsseminar für höhere Semester, 1 g; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Hanle:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene III: Elektrizität, 2; Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Wessel:** Elektrodynamik bewegter Körper und Gravitationstheorie, 3; Potentialtheorie, 1. — **Esau:** Technische Thermodynamik, 2; Technische Akustik, 1; Technisch-physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kühl:** Physiologische Optik I, 2; Das Mikroskop, Bau und Anwendung, 2; Optisches Praktikum, 4; Mikroskopisches Praktikum, 2; Optisches Seminar, 14tägig, 2 g; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl. — **Siedentopf:** Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, mit Praktikum, 3. — **Köhler:** Mikrophotographie, 1. — **Sieberg:** Erdbeben und Erdbebenforschung in Deutschland, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, g; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten, tägl. g; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Vereinbarung g. — **Meisser:** Das Schwerefeld der Erde, 1. — **M. Müller:** Die Bedeutung der geoelektrischen Meßmethoden für die Erschließung der deutschen Erdöllagerstätten, 1 g. — **Hecker:** Geophysikalisches Praktikum: Einführung in die Methoden der angewandten Geophysik zum Aufsuchen nutzbarer Lagerstätten (mit Meisser), 2; Allgemeine geophysikalische Meßmethoden, 2; Geophysikalische Forschungsarbeiten (mit Meisser), tägl. g. —

Technische Hochschule Karlsruhe. **Weizel:** Physik II, 3; Theoretische Physik D: Struktur der Materie, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Bühl und Finkelnburg), 1; Spektroskopische Übungen, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar (mit Finkelnburg), 1. — **Peppler:** Synoptische Meteorologie, 2; Meteorologische Übungen I, für Lehramtskandidaten, 2, für Berufsmeteorologen, 2. — **Bühl:** Physik I B (Experimentalphysik), 3; Höhere Experimentalphysik, 2; Physikalisches Laboratorium, 6; Selbständige Arbeiten im Physikalischen Institut, nach Vereinbarung. — **Finkelnburg:** Das physikalische Weltbild, 1; Übungen zu Struktur der Materie, 1. —

Universität Kiel. **Rausch v. Traubenberg:** Experimentalphysik: Elektrizität, Optik, 4, für Mediziner, 3; Struktur der Materie, 1 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; Physikalisches Kolloquium (mit Unsöld und Martienssen), $1\frac{1}{2}$ g; Forschungsarbeiten, tägl. — **Unsöld:** Optik, 4, Übungen, 1; Einführung in die Akustik, 1; Physikalisches Seminar, $1\frac{1}{2}$ g. — **Martienssen:** Mechanische und elektrische Schwingungen unter besonderer Berücksichtigung technischer und militärtechnischer Anwendungen, 2. — **Schmidt:** Übungen im Schulexperimentieren, 1. —

Universität Köln. **Rinkel:** Experimentalphysik I: Mechanik, Optik, Akustik, auch für Mediziner, 4; Physikalisches Praktikum (mit Hiedemann) für Anfänger, 7, für Fortgeschrittene, 3, für Mediziner, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Falkenhagen und Hiedemann), 4 Tage. — **Försterling:** Thermodynamik, 4, Übungen, 1; Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Malsch), tägl.; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Lassen, Malsch und Cremer), 2. — **Falkenhagen:** Einführung in die Mathematische Physik II: Elektrodynamik, Optik, Theorie der Strahlung und der Quanten unter Berücksichtigung der modernen statistischen Methoden, 3, Übungen, 2; Struktur der Materie (Besprechung aktueller Fragen aus der Physik) (mit Hiedemann), 14tägig, 2. — **Lassen:** Hochvakuumtechnik, Gasentladungen, Glühelektroden, 2; Technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl. — **Hiedemann:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Strömungslehre, 2. — **Malsch:** Praktikum für Fortgeschrittene, 4. —

Universität Königsberg. **Kaufmann:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Magnetismus, für Mediziner, 3, für Naturwissenschaftler (mit Steinke und Stuart), 5; Physikalisches Proseminar, 14tägig, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Gans und Kretschmann), 14tägig, 2; Physikalisches Praktikum (mit Gans), für Physiker und Mathematiker, 8, für Biologen und Chemiker, 3. — **Gans:** Mathematische Hilfsmittel der theoretischen Physik, 4; Selbständige Arbeiten in experimenteller und theoretischer Physik (mit Stuart), tägl. g; Übungen zur theoretischen Physik, 1 g; Physikalisches Seminar (mit Kretschmann, Steinke und Stuart), 14tägig, 2 g. — **Steinke:** Experimentalphysik II: Elektrizität, 2, Übungen, 2; Anleitung zum selbständigen Arbeiten für Fortgeschrittene, ganztägig. — **Stuart:** Molekülbau, 1. — **Reichenbächer:** Allgemeine Relativitätstheorie und Theorie der Schwere, 2. — **Kretschmann:** Einführung in die Mechanik der Massenpunkte und starren Körper, 4, Übungen, 1 g. — **Errulat:** Arbeitsgemeinschaft zur synoptischen und aerologischen Wetterprognose, 1; Besprechung geophysikalischer und meteorologischer Arbeiten, 2 g; Geophysikalisches Praktikum, 1; Die Physik der oberen Atmosphäre, 1. —

Universität Leipzig. **Debye:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 5; Höhere Physik, Ergänzungen zur allgemeinen Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 oder 9, für Mediziner, Veterinärmediziner, Zahnärzte und Pharmazeuten, 3, für Fortgeschrittene, 9; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44; Seminar über die Arbeiten des Instituts, nach Vereinbarung g; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), 1 Abend g. — **Heisenberg:** Theoretische Physik III: Elektrizitätslehre, 4, Übungen, 1; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 g; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund). — **Hund:** Aufbau der Materie, 3. — **Schiller:** Elastizität und Festigkeit, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 24 oder 44; Besprechung neuerer Arbeiten aus Hydro-, Aero- und Thermodynamik und Ballistik, 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Karolus:** Elektrotechnik II, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, 24 oder 44; Besprechungen neuerer Arbeiten aus dem Gebiet der Hochfrequenztechnik, 1 g. — **N. N.:** Physik und Technik der Röntgenstrahlen, 2; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44; Radiologisches Praktikum, 2; Besprechung neuerer Arbeiten über Atomphysik, nach Vereinbarung g. — **Möbius:** Korpuskularstrahlen, 1; Physikalische Schulversuche, 3. — **Kaempf:** Repetitorium der Physik für Mediziner, Veterinärmediziner, Zahnärzte und Pharmazeuten, 2. — **Schmidt:** Höhere Mechanik, 2. — **Weickmann:** Wellen in elastischen Medien, mit Anwendung auf seismische, hydrographische und meteorologische Fragen, 2; Allgemeine Meteorologie I, 2 g; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium, tägl.; Geophysikalisches Praktikum, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 g. —

Universität Marburg. **Grüneisen:** Experimentalphysik II, 4, Theoretische Ergänzungen, 1 g, für Mediziner, 3; Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Praktikum (mit Kneser und Vogt), für Anfänger, 6, für Mediziner, 2, für Fortgeschrittene, 8, für Geübte, Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Schulze, Kneser und Vogt), tägl. — **Berek:** Einführung in Aufgaben der technischen Optik, 2. — **Schulze:** Mechanik II: Elastizitätstheorie und Hydrodynamik, 3; Theorie der Optik, 4; Übungen in theoretischer Physik, 1 g. — **Kneser:** Atomphysik I, 2. — **Vogt:** Technische Physik I: Überblick über die technischen Anwendungen von Mechanik (Akustik) und Thermodynamik, mit Versuchen und Besichtigungen, 2. — **Rellich:** Mathematische Hilfsmittel der Quantenphysik, 4. —

Universität München. **Gerlach:** Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrizität, 4, Ergänzung, 1; Physikalische Übungen für Anfänger, Kurs a und b, 4, Kurs c (Ergänzungskurs, mit Schütz), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rüchardt und Schütz), tägl.; Übungen für Fortgeschrittene (mit Schütz), tägl.; Physikalisches Seminar (mit Rüchardt und Schütz), 2 g. — **Sommerfeld:** Randwertaufgaben der Physik, 3, Ergänzung, 1, Übungen, 2 g; Seminar (mit Scherzer), 2 g; Ausgewählte Fragen der Wellenmechanik, 1 g. — **Rüchardt:** Höhere Experimentalphysik: Elektronik und Atomismus, $2^1/_2$. — **Schütz:** Dispersion und Absorption, 2. — **Scherzer:** Vektorrechnung (als Einführung in die theoretische Physik), 3, Übungen, 1; Metalltheorie, 2. — **Schmauss:** Meteorologie II, 3; Meteorologisches Seminar, 1 g. — **Geiger:** Das Gewitter, 1. —

Technische Hochschule München. **Zenneck:** Experimentalphysik II: Elektrische Ströme, Elektromagnetisches Feld, Elektromagnetische Schwingungen, Ionen und Elektronen, Elektrooptik, 4; Ausgewählte Kapitel der Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 4 oder 8, für Fortgeschrittene (mit (Kulenkampff), halbtägig; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten (mit Kulenkampff), ganztägig. — **Fischer:** Grundzüge der Physik II: Strahlung, Optik, Elektrizität und Magnetismus, 3; Elemente der theoretischen Physik II: Optik, Elektrizität, Magnetismus, 3, Übungen, 1; Feinmessungen und Feinmeßwerkzeuge der Technik, 2; Praktisch-physikalische Übungen, 4; Einführung in die wissenschaftlichen Methoden der Physik, Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 8. — **Frank:** Experimentalphysik II: Elektrizität II, Optik, 3; Angewandte Physik einschließlich Elektrotechnik II, 1, Übungen, 2; Feldmessen und Nivellieren für Landwirte, 1, Übungen, 1; Physikalische Übungen für Landwirte, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus Physik, ganztägig. — **Meißner:** Technische Physik III: Anwendungen der Mechanik und der Akustik, 3; Technisch-physikalisches Praktikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der technischen Physik, tägl. — **Ammann:** Kinematographie II, 1. — **v. Angerer:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene II: Mechanik der Kontinua, Wärmelehre, Physik und Technik des Hochvakuums, 2. — **Aumann:** Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit Anwendungen, 2. — **Dieckmann:** Drahtlose Telegraphie und Telephonie II, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Fernseh- und Tonfilm-Technik, 2; Praktikum in Hochfrequenzmeßtechnik, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem

Gebiete der angewandten Physik, nach Vereinbarung. — **Huber:** Bioklimatologie, 1; Meteorologische Optik, 1. — **Kühl:** Physiologische Optik: Farbloses Licht, 2. — **Kulenkampff:** Die magnetischen Eigenschaften der Materie, 1. — **Reiher:** Schall und Erschütterungstechnik, 2. — **Nusselt:** Mechanische Wärmetheorie: Die beiden Hauptsätze, die Lehre von den Gasen und Dämpfen, 4, Übungen, 2, Oberstufe: Anwendung der Hauptsätze, Dampf-Luftgemische, Dissoziation, die Verbrennung und die Vergasung der Brennstoffe, 2; Theoretische Maschinenlehre II: Verbrennungskraftmaschinen, 3, Übungen, 2; Praktikum II im Laboratorium für Wärmekraftmaschinen: Experimentelle Untersuchung von Dampfturbinen, Verbrennungskraftmaschinen, Kältemaschinen, Kompressoren, für Maschineningenieure, 4; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten im Laboratorium für Wärmekraftmaschinen, ganztägig. — **Hausen:** Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik und technische Anwendungen, 2. — **Schwarz:** Metallkunde II, 2; Metallographisches Praktikum, 4; Spezielle Arbeiten über Metallkunde, nach Vereinbarung; Röntgenmetallographie, mit besonderer Berücksichtigung der Röntgenschattenbilder, 1; Leichtlegierungen II, 1. —

Universität Münster. **Senftleben:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum (mit Durau), für Anfänger, 3 oder 6, für Mediziner, 3, für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Seminar (mit Durau), 2 *g*. — **Kratzer:** Optik, 4, Übungen, 1½; Elektronentheorie, 3; Seminar über Atombau, 14 tägig, 2 *g*; Übungen über Raum und Zeit (mit Scholz), 14 tägig, 2 *g*. — **Siemens:** Angewandte Elektrizitätslehre II, 2 *g*. — **Durau:** Elektrische Meßinstrumente, 1; Physikalisches Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend, für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend. —

Universität Prag. **Fürth:** Experimentalphysik II, 5, Ergänzungen, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, 3; Übungen über technische Physik, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Frank, Blüh und Glaser), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. — **Frank:** Wellenmechanik, 4; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Blüh:** Experimentelle Bestimmung der physikalischen Fundamentalkonstanten, 2; Physikalische Lektüre, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Glaser:** Einführung in die theoretische Physik IV: Atomistik und Quantentheorie, 5; Übungen im praktischen Lösen von Aufgaben aus der theoretischen Physik für Lehramtskandidaten, 2. — **Funk:** Über einige Probleme der Physik und technischen Mechanik, 2. — **Pollak:** Meteorologische Instrumentenkunde, 3; Einführung in die aerologischen Arbeitsmethoden, 2; Übungen für Fortgeschrittene, tägl.; Geophysikalisches Praktikum, 4; Praktische Übungen mit Instrumenten für geophysikalische Forschungsreisen (mit Sedlmeyer), 6. —

Universität Rostock. **Füchtbauer:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Optik, 4, für Mediziner, 2; Physikalische Übungen, 8, für Mediziner, 4; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar (Kolloquium) (mit Jordan und Kunze), 14tägig, 1½ *g*. — **Jordan:** Einführung in die Atomphysik, 4; Ausgewählte Kapitel der modernen physikalischen Theorien, 2; Ballistisches und mathematisches Seminar (mit Furch und Schmieden), 2. — **Falckenberg:** Meteorologisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl., für Anfänger, 4. — **Kunze:** Forschungsergebnisse der modernen Physik, 1. —

Technische Hochschule Stuttgart. **Regener:** Experimentalphysik, 3; Kurzer Abriß der Experimentalphysik II, 14 tägig, 2; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Braunbek), 3–6, für Fortgeschrittenere, 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Braunbek), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Ewald und Glocker), 1½. — **Braunbek:** Übungsbeispiele in Physik I und II, 1; Mathematische und graphische Behandlung von Wechselströmen, 2. — **Kramer:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, 1. — **Ewald:** Theoretische Physik II: Thermodynamik, 4; Theoretikum in Physik (mit Hönl), 3; Seminar über Atomphysik (mit Hückel, Hermann und Hönl), 2; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiete der theoretischen Physik, nach Vereinbarung. — **Hückel:** Elementare Einführung in die moderne Theorie der Atome und Moleküle, 2; Polare Molekeln, 2, Übungen, 1. — **Hermann:** Stereochemie im festen Zustand, 2. — **Hönl:** Elektronentheorie, 2. — **Glocker:** Röntgenpraktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene (mit Dehlinger), 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium (mit Dehlinger), tägl.; Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen, 1, Übungen (mit Dehlinger), 3. — **Dehlinger:** Aufbau und Technologie kristalliner Stoffe: Faserstoffe, 1. — **Kleinschmidt:** Meteorologisches Praktikum, insbesondere Meßmethoden und Übungen an der Wetterkarte, 2. —

Universität Tübingen. **Geiger:** Moderne Experimentalphysik, ein Überblick, 2; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8, für Mediziner, 3; Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Seminar über kosmische Ultrastrahlung, nach Vereinbarung *g*. — **N. N.:** Thermodynamik, 4. — **Back:** Quantentheorie der Atomspektren, 2. —

Universität Wien. **Jäger:** Optik, 5. — **Meyer:** Die radioaktiven Substanzen, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitute, tägl.; Radioaktives Praktikum (mit Przibram), 3; Besprechung neuerer Arbeiten, 1 *g*. — **Ehrenhaft:** Experimentalphysik II, 5, Theoretische Ergänzungen, 1, Demonstrationsergänzungen, 1, Seminar, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Schweidler:** Experimentalphysik II, 5, Demonstrationsergänzungen, 1; Mittelschul-Experimentier-Praktikum für Lehramtskandidaten, 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Thirring:** Quantentheorie, 5; Seminar für theoretische Physik, 1; Proseminar für theoretische Physik, 1. — **Haschek:** Experimentalphysik II, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 6, für Vorgeschrittene, 10; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Kottler:** Einführung in die theoretische Physik und ihre mathematischen Hilfsmittel II, 5. — **Przibram:** Einführung in die Atomistik: Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen und deren Beschaffenheit, 2, Mathematische Ergänzungen, 1. — **Haas:** Linienspektren, 1. — **Kirsch:** Atombau, 3, Übungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten (mit Stetter), tägl. — **Stetter:** Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Mache:** Kinetische

Theorie der hochverdünnten Gase, 2. — **Sirk:** Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 3, Übungen, 2. — **Flamm:** Partielle Differentialgleichungen der Physik II, 3, Rechenübungen, 1. — **Hauer:** Repetitorium der Physik für Mediziner, 2; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiete der medizinischen Physik, 8. — **Konstantinowsky:** Die Physik des Starkstromkabels, 1. — **Ettenreich:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der Schwingungslehre und der Elektronenentladungen, 1. — **Mattauch:** Über die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie, 2. — **Bauer:** Theorie des Zeemaneffektes, 1; Quantenstatistik II, 1. — **Ortner:** Meßmethoden der Radioaktivität, 1. — **Seidl:** Röntgenstrahlen und ihre Anwendungen, 2. — **Schmidt:** Physikalische Meereskunde, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Besprechung neuerer meteorologischer Literatur (mit Conrad und Schedler), $1^1/_2$ g. — **Conrad:** Das Klima der Subtropen, mit besonderer Berücksichtigung des Mittelmeeres, 2. — **Schedler:** Schallausbreitung in der Atmosphäre, 1.

Technische Hochschule Wien. Mache: Physik: Optik, Wärmelehre, 5; Wärmelehre, 5; Kinetische Theorie der hochverdünnten Gase, 2; Physikalisches Praktikum I, 8, II (mit Aigner und Petritsch), 30, für technische Chemiker und für Feuerungs- und Gastechniker, 4. — **Flamm:** Physik VI: Wärmetheorie, 5; Theorie der Elektrizität, 3; Partielle Differentialgleichungen der Physik, 3; Physikalische Rechenübungen, 1; Physikalisches Seminar, Wahlausbildung Fortgeschrittener, 1. — **Aigner:** Physik, 3, Raumakustik, 2; Hochfrequenzphysik, Elektroakustik und Elektrooptik, 2. — **Bauer:** Theorie des Zeemaneffektes, 1; Quantenstatistik, 1. — **Regler:** Grundlagen der technischen Röntgendurchstrahlung, 1. — **Schober:** Analyse der Bandenspektren, 2; Über Leuchtröhren und Gasentladungslampen, 1. —

Universität Würzburg. Harms: Experimentalphysik II: Optik und Wärme, 3; Experimentalphysik: Elektrizitätslehre, für Fortgeschrittene, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Mathematiker (mit Döpel), 3 und 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3, für Fortgeschrittene, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Döpel), ganztägig. — **Ott:** Elektrodynamik, 4, Übungen, 1 g; Hydrodynamik, 2. — **Döpel:** Neuere Probleme der Experimentalphysik, 1. —

Universität Zürich. Meyer: Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 5, Ergänzungen, 1, Seminar (mit Bär), 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Bär), 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerücktere, halbtägig; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Wentzel:** Einführung in die theoretische Physik, 2; Quantentheorie, 4, Übungen, 1; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Ratnowsky:** Relativitätstheorie, 2. — **Bär:** Schall und Ultraschall, 1. — **Schein:** Atomzertrümmerung, 1. — **Zuber:** Kristallphysik, 1; Repetitorium der Experimentalphysik, 1. — **Frl. Stueckelberg:** Spezielle Probleme aus der Maxwellschen Theorie der Elektrizität, 1. —

NACHRICHTEN.

Ernannt: Der kommissarische Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie in Berlin-Dahlem Dr. Gerhard Jander zum ord. Professor für Chemie an der Universität Greifswald, der Vorstand des chemischen und photochemischen Laboratoriums an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin Oberregierungsrat Dr. Walter Noddack zum ord. Professor für physikalische Chemie an der Universität Freiburg i. Br., der a. o. Professor der theoretischen Physik an der Universität Heidelberg Dr. August Becker zum ord. Professor der Experimentalphysik und Direktor des Philipp-Lenardhauses (Physikalisches Institut der Universität) an der Universität Heidelberg, der a. o. Professor an der Universität Leipzig Dr. Fritz Kirchner mit der Vertretung des ord. Professor für technische Physik an der Universität Köln, der Privatdozent an der Universität Zürich Dr. Ernst C. G. Stueckelberg zum a. o. Professor für theoretische Physik an der Universität Genf, der Vorstand im Institut für Gewerbeförderung in Reichenberg (Tschechoslowakei) Dr. Karl Lichtenecker zum Honorarprofessor für Physik an der Deutschen technischen Hochschule Prag, der Privatdozent an der Universität Berlin Dr. Karl Stumpff zum a. o. Professor für Astronomie und meteorologische Periodenforschung ebenda, der a. o. Professor für anorganische Chemie an der Universität Göttingen und Abteilungsleiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem Dr. Peter Adolf Thiessen zum ord. Professor der Chemie an der Universität Münster, der a. o. Professor an der Universität Breslau Dr. Guido Hoheiser zum ord. Professor der Mathematik an der Universität Greifswald, der ord. Professor für Physik des Nachrichtenwesens an der Universität Frankfurt a. M. Dr. Max Seddig zum ord. Professor der angewandten Physik an derselben Hochschule.

Ehrung: Dem ord. Professor der Physik an der Universität Leipzig Dr. Peter Debye wurde von den Universitäten Lüttich und Brüssel in Belgien der Titel Dr. h. c. verliehen.

Vom Lehramt zurück: Der ord. Professor für physikalische Chemie an der Universität Freiburg i. Br. Dr. Georg v. Hevesy.

Gestorben: Der frühere ord. Professor der Chemie an der Tschechischen Karlsuniversität in Prag Dr. Bohuslav Brauner, der Professor für Pharmakologie an der Universität Oslo und Gründer und Leiter des Vitamininstitutes in Skoyen bei Oslo Dr. Poul Edvard Poulsson.

Angebote.

Physiker

mit vollständigen Kenntnissen von der Entwicklung und Konstruktion modernster Gasentladungslampen für Beleuchtungszwecke erhält sofort Anstellung in großem europäischem Unternehmen. Antwort unter „Physiker 1935“ an die Anzeigenannahme dieses Blattes zur Weiterbeförderung erbeten.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. P. Debye in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig. DA.: 1500. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig.